



2016-09-30

SPRIDA

Förstudie om metoder för att mäta spridningseffekter av störningshändelser i tågtrafiken

Slutrapport

SICS Technical Report T2016:05

Diarienummer: TRV 2015/109656

Martin Joborn, Zohreh Ranjbar

martin.joborn@sics.se, zohreh.ranjbar@sics.se

2016-09-30

Abstrakt

Denna förstudie fokuserar på spridningseffekterna av störningar i järnvägsnätet och hur man kan analysera, mäta och visualisera dem. I rapporten analyserar vi datatillgång och dess kvalitet ur ett kompletthetsperspektiv. Vi föreslår nya mätetal för störningsspridning, vilka kan bidra till att identifiera samband mellan störningar och punktlighet (på slutstation). Dessutom beskrivs sätt att visualisera störningar och deras spridning, vilket kan bidra till ökad förståelse och därmed förbättra förutsättningarna att bekämpa störningars spridning. Rapporten redogör också för forskningsfronten gällande modellering av störningsspridning med slutsatsen att det är ett beforskat område att resultaten behöver anpassas för specifikt svenska förhållanden.

Sammanfattning

Syftet med denna förstudie är att utreda kunskapsläget kring hur störningar sprider sig i tågtrafiken och kartlägga hur man kan fördjupa kunskaperna med slutmålet att öka punktligheten i tågtrafiken. Inom studien har vi främst belyst fyra olika aspekter av störningsspridning: datatillgång och möjlighet till efteranalys, mätning av störningsspridning, visualisering samt modeller för prognostisering av störningars spridning. En mindre fallstudie har genomförts för att öka förståelse och konkretisera vissa förslag.

Syftet med efteranalys är att i efterhand kunna återskapa och förstå spridningen av en störning. För detta krävs att datatillgången kring störningar är av god kvalitet. Oftast är det i efterhand möjligt att förstå hur och varför störningar sprids, men det finns svårigheter att spåra störningsspridningar som har samband med tågvändningar och framför allt personalbyten. Det saknas helt data om personalbyten. Detta gör att det i vissa fall är svårt att spåra varför störningar spridits på ett visst sätt. Det är också i operativt skede mycket svårt för trafikledningen att förutsäga vad som händer i samband med vändningar och personalbrist. Här finns möjligheter till bättre integration och informationsutbyte mellan Trafikverket och järnvägsoperatörer som skulle kunna förbättra hanteringen.

Projektet har tagit fram förslag till utveckling av mätetalen kring störningar för att bättre spegla deras spridning. Genom att ta hänsyn till återhämtning (och inte bara merförsening) kan man skapa en koppling mellan orsakande händelser och förseningen på slutstationen så att man på ett bättre sätt kan identifiera vilka störningar som ger upphov till punktlighetsproblem. Genom att dessutom ha mätetal för geografiska störningsspridningar kan man även identifiera vilka störningar som får allvarliga spridningskonsekvenser och på så sätt dra slutsatser om platser, tider och omständigheter som är extra viktiga för att reducera störningars spridning. Exakta utformningen av mätetalen behöver specificeras noggrannare.

Visualisering är ett bra sätt att skapa förståelse för spridning och konsekvenser av störningar. Rapporten visar på olika sätt att göra visualisering som av både tidsmässig och geografisk spridning av störningar.

Datorbaserade prognosmodeller för spridning av störningar kan vara till hjälp både vid analys av tidtabellers egenskaper och som ett operativt hjälpmedel. Inom forskningen har det utvecklats modeller som verkar mycket lovande.

Som nästa steg föreslår vi att man i första hand går vidare med utveckling och detaljering av nya spridningsmått, vilket vi bedömer snabbt kan komma till nytta för en förbättrad analys av punktlighetsproblematiken. Vi rekommenderar en specifikationsstudie för att göra detaljerade avväganden hur mått ska skapas och nyttjas. Gällande visualisering bedömer vi att man bör precisera närmare hur det skulle kunna användas inom järnvägsbranschen för att komma till nytta och göra en specifikation för fortsatt utveckling. Beträffande modeller för störningsspridning rekommenderar vi fortsatt forskning i ett doktorandprojekt för att utveckla och anpassa aktuell forskning till svenska förhållanden.

Innehåll

Abstrakt	1
Sammanfattning.....	2
1. Inledning.....	4
1.1 Syfte och avgränsning	4
1.2 Metod och angreppssätt	5
1.3 Primära frågeställningar	5
1.4 Tillkännagivande.....	5
2 Hantering av störningar.....	5
2.1 Roller och processer	6
2.2 Avvikelsehantering	6
3 Störningars spårbarhet och datatillgång.....	8
3.1 Tillgängliga data.....	9
3.2 Datakvalitet	11
4 Mätning av störningsspridning.....	12
4.1 Mått på störning, störningsspridning och försening	13
4.2 Trafikverkets mått	14
4.3 Alternativa mått	17
5 Sammanfattning av fallstudierna	22
6 Visualisering	26
6.1 Geografisk spridning.....	26
6.2 Tidsmässig spridning	27
7 Störningsmodeller i litteraturen.....	27
8 Slutsats och nästa steg	30
9 Referenser	32
10 Appendix: Fallstudier.....	33
Fallstudie 1	33
Fallstudie 2	37
Fallstudie 3	39

1. Inledning

Punktligheten i Sveriges tågtrafik behöver förbättras. Trafikverket bedriver i samverkan med järnvägsbranschen samarbetet Tillsammans för Tåg i Tid, TTT. Inom TTT arbetar man brett för att öka tågtrafikens punktlighet. Inom TTT tar man också fram mycket statistik kring störningar och dess orsaker. Från TTT har det efterfrågats mer kunskap gällande hur störningar sprider sig tidsmässigt och geografiskt. Som en del av den nödvändiga kunskapsbreddningen kring störningsspridningar har denna förstudie genomförts.

Målet med förstudien är att den ska kunna ligga till grund för fortsatt arbete och att man ska kunna avgöra inom vilka områden det är mest lämpligt att gå vidare. Inom förstudien har vi framför allt fördjupat oss inom områdena analys av störningar, mått på störningsspridning, visualisering av störningar och dess spridning samt litteraturundersökning kring möjligheter att förutsäga spridning av störningar genom analytiska modeller.

1.1 Syfte och avgränsning

Syfte med denna förstudie är att undersöka och beskriva möjligheterna att analysera, mäta, visualisera och förutsäga spridningseffekter av primära störningar, både tidsmässigt och geografiskt, för att i förlängningen kunna öka punktligheten i Sveriges tågtrafik. Med analyser av en störning avses förutsättningar att i efterhand återskapa och förstå händelseförloppet och åskådliggöra sambanden mellan de berörda tågen. Att mäta störningseffekter innebär att kunna särskilja om störningar haft stor eller liten geografisk eller tidsmässig spridning och störningarnas påverkan på annan trafik och punktlighet.

Målet i studien är:

1. Att avgöra om det i efterhand via tillgängliga data är möjligt att förstå orsakssambanden för störningars spridning.
2. Föreslå nya mått för störningsspridning
3. Ge exempel på hur visualisering kan se ut som ett redskap för att åskådliggöra spridningen av störningen.
4. Att bedöma hur långt forskningsfronten kommit för att kunna förutsäga spridningseffekter om hur störningen kommer att fortplanta sig i nätet så att rätt åtgärder kan vidtas.

Studieområdet är brett och studien har inte haft möjlighet att "gå till botten" med de olika aspekterna som omfattas av området. Målet är i stället att avgöra inom vilka områden och på vilka sätt man ska gå vidare, vilket beskrivs i rapportens slutkapitel. De konkreta fall av störningar som har granskats har varit förhållandevis små. I förstudien har det inte ingått att undersöka eller jämföra hur olika typer av störningar sprider sig. Vidare har vi inte analyserat hur trafikledningens roller eller processer kan förändras för att påverka störningshanteringen. Undersökning kring prediktion av störningsspridning har begränsats till en litteraturstudie, vilken inte har kunnat utvärdera de metoder som föreslagits i forskningslitteraturen för att avgöra deras tillämplighet för svenska förhållanden.

Studien berör inte heller beslutsstöd och samarbetsformer för operativ störningsbekämpning, i det området rekommenderar vi t.ex. (Krasemann, 2015) respektive (Andersson, et al 2016). För analys

om orsaker och konsekvenser av "små störningar" (mindre än 3 minuter) hänvisar vi till (Palmquist, 2015). Studien går heller inte in på vilka förändringar som kommer att ske i och med att Trafikverket inför Nationellt Tågledningssystem (NTL).

1.2 Metod och angreppssätt

Inom förstudien har flera olika metoder använts. Ostrukturerade intervjuer har gjorts med nyckelpersonal för störningshantering vid Trafikverket för att öka förståelse för hur störningar hanteras störningar. Data för Trafikverkets uppföljningssystem har analyserats med hjälp av Microsoft Excel and SciLab. En begränsad litteraturstudie har genomförts, med fokus på forskningspronten kring analytiska metoder för att simulera och prediktera störningars spridning. Analytiskt tänkande har använts för att ta fram nya mått för störningar. En mindre fallstudie omfattande fyra mellanstora störningar har genomförts för att öka förståelse och prova hypoteser. Projektdeltagarna har sedan tidigare god kunskap om den operativa styrningen och trafikledningen inom Trafikverket, vilket kommit till nytta i detta projekt.

1.3 Primära frågeställningar

De primära frågeställningar som förstudien angriper är:

- Vilka data finns för att analysera störningar och deras spridning? Verkar datakvaliteten tillräckling för analys? Vilka data saknas?
- Vilka mått på störningar och störningsspridning är lämpliga?
- Är det möjligt att i efterhand analysera störningar för att se hur de har spridit sig och förstå varför de har spridit sig som de gjort?
- Hur kan störningars spridning visualiseras för att ge god förståelse och nya insikter om hur störningar sprids?
- Var ligger forskningsfronten gällande prediktion av en störnings spridningsmönster?

1.4 Tillkännagivande

Projektet har finansierats av Trafikverket och utförts inom ramarna för Branschprogram Kapacitet i Järnvägstrafiken (www.kajt.org) av KAJT-parten SICS Swedish ICT. Projektledare har varit Martin Joborn och Zohreh Ranjbar, SICS Swedish ICT Västerås, har varit projektdeltagare. Projektets kontaktperson vid Trafikverket har varit Elisabet Spross. Projektutförarna Martin och Zohreh vill framföra sitt tack till Elisabet för ett konstruktivt och gott samarbete.

2 Hantering av störningar

I detta kapitel görs en översiktlig beskrivning av Trafikverkets hantering av störningar i tågtrafiken. Information kommer till största delen från intervjuer med medarbetare på Trafikverket. Intervjuer har gjorts med en regional operativ ledare (ROL) på trafikledningscentralen i Malmö och en tågledare/fjärrtågklarare vid Trafikledningscentralen i Stockholm, samt en kapacitetsanalytiker på Trafikverket. Dessutom har vi hämtat information löpande via projektets kontaktperson.

2.1 Roller och processer

Det finns fem trafikledningsområden (TLO) och åtta trafikledningscentraler (TC) i Sverige, placerade i Boden, Ånge, Gävle, Stockholm, Norrköping, Hallsberg, Göteborg och Malmö. I trafikledningscentralen fjärrövervakas tågtrafiken i tillhörande del av landet. TC är bemannade dygnet runt, året runt. Personalen och rollerna på trafikledningscentralen kan delas in i två grupper: produktionsledning och operativ ledning. Produktionsledning ansvarar för samordning och innebär roller som regional operativ ledare (ROL), tågledare (TL), trafikinformationsledare (TIL) och driftledare (DL). Operativa ledningen arbetar mer direkt mot trafik, resenärer och drift och innebär roller som produktionsledare (PL), fjärrtågklarare (FJTKL), informatör (INFO), drifttekniker (DT), lokaltågklarare (LKTL). I kontrollrummet finns en operativ chef (OC), en driftledare, en tågledare, en informationsansvarig, informatörer samt tågklarare. Fjärrtågklararen har en central roll i den operativa störningshanteringen, vid större störningar även tillsammans med tågledaren.

Huvudsakliga arbetsverktyg för FJTKL är ett flertal datorsystem, telefon samt daglig graf (utskrivet på papper). I daglig graf-utskriften görs kontinuerligt noteringar om beslut och förseningar och om ett tåg är försenat eller för tidigt ska tågklararen rita om detta tåg i grafen. När ett tåg får en merförsening på 3 minuter eller mer ska orsak rapporteras i systemet Basun.

Om en störning berör fler än ett TLO samordnas hanteringen av Nationell Operativ Ledare (NOL) Det är Regional Operativ Ledare som tar beslut om en viss störningsplan skall tillämpas.

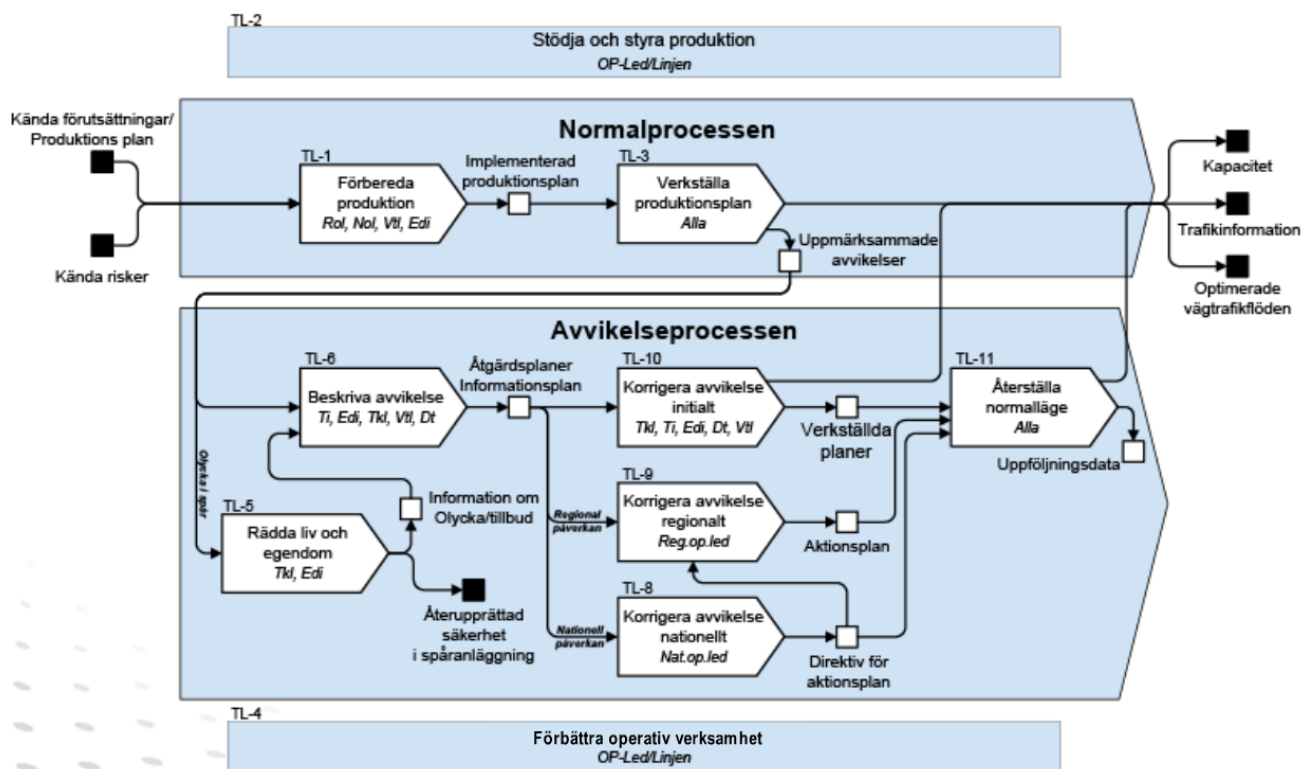
Tågklarare ansvarar för att planera tågtrafiken och se till att tågen förs fram på ett säkert sätt. Tågklararen orsakskodar störningar i Basun medan driftteknikern i Basun rapporterar in när felet är avhjälpt. Om ett tåg fått en ny tidtabell (alltså inte bara en försening utan större förändring i gångplanen) så läggs den nya körplanen in i TrainPlain. Tågledarna har en övergripande bild av hela trafiken i respektive TLO och det övergripande ansvaret för att föra fram tågen och kommunicera med järnvägsoperatörerna, t.ex. om de vill prioritera tåg eller andra förfrågningar som ändrade rutter, flyttade vändningar eller nya tåg som inte är med i tidtabellen. Informatören är den som informerar resenärer om förseningar, spårändringar med mera. För mer detaljerad information om olika roller och dess ansvar se (ONTIME, 2014).

2.2 Avvikelsehantering

De beskrivningar av processer som vi fått ta del av beskriver framförallt roller och samarbetsformer, däremot har vi inte sett mer konkreta instruktioner eller liknande för de direkta åtgärderna i samband med störningar. Ett undantag från detta är störningsplanerna, där man överenskommit med andra aktörer vilka åtgärder som ska vidtas i samband med större inskränkningar i kapaciteten. Anvisning och detaljering av störningsplaner varierar dock mellan olika trafikledningsområden.

Den praktiska hanteringen av primära och sekundära störningar är mycket beroende av den enskilda klararens erfarenhet och skicklighet.

Figuren nedan är en översiktlig processillustration av trafikledningens normalprocess och avvikelseprocess, hämtad från Trafikverkets utbildningsmaterial. Figuren illustrerar vilka olika roller som ska agera i samband med störningar, men däremot beskriver den inte *hur* man ska agera.



Figur 1 Illustration av normalprocess och avvikelseprocess för trafikledning. Källa: Trafikverket.

Översiktliga åtgärder för att hantera stora störningar är beskrivet i störningsplanerna. De kan t.ex. beskriva vilka tåg som ska prioriteras och vilka som ska vändas på nya platser eller ställas in vid kapacitetsbortfall som enkelspårdrift i stället för dubbelspårdrift. Vid mindre störningar som inte omfattas av störningsplaner (vilket är den absoluta majoriteten av alla störningar) handlar det i första hand om att fatta beslut utifrån kompetens och erfarenhet. Enligt trafikledarna är mellanstora störningar (t.ex. nedsatt kapacitet med 50 %) svårast att hantera eftersom man måste ta till drastiska åtgärder (utan att det finns störningsplan) samtidigt som det kan vara svårt för inblandade parter att acceptera de prioriteringar som görs och de förseningar som uppstår. Vid stora störningar är det mer uppenbart för alla parter att drastiska åtgärder måste vidtas, därför är det lättare att få acceptans för de beslut som tas och dess konsekvenser. När stora störningar inträffar är det svårt att hålla fokus på spridningskonsekvenserna utanför händelseplatsen. Huvuduppgiften är att återställa trafiken till tågplanen. Om endast ett tåg är försenat är det relativt enkelt att se följd effekter men om det är många tåg inblandade är svårt att ha koll på följd effekterna.

Tågledare och fjärrtågsklarerare saknar ofta information om järnvägsbolagens personalomlopp och fordon somlopp. Vid vissa störningar gör detta att det är mycket svårt att överblicka (och förutsäga) konsekvenserna av en störning och hur den kommer att sprida sig eftersom man inte vet om förare eller fordon blir försenade till efterföljande uppdrag eller vilka möjligheter operatören har att sätta in

ersättningsfordon eller annan personal. Vid förändringar av körplaner, tidtabeller eller gångtider ritas de nya planerna in (med penna) på utskriften av dagliga grafen¹ tillsammans med noteringar. Uppskattning av förseningsminuter och konsekvenser görs utan särskilt beräkningsstöd och uppskattningarna baseras på personalens erfarenhet från tidigare situationer. Tågtrafiken flyter sällan till 100% enligt planen och mycket ofta sker mindre korrigeringar. Det kan också vara ett glapp mellan de allmänna riktlinjerna för hur störningar ska hanteras och de faktiska möjligheter i samband med en given störning.

Datorsystemet Basun används bland annat för att registrera orsaker till förseningar. Merförseningar som är under 3 minuter orsaksregistreras inte. Själva avvikelserna (tiden) hämtas från ett annat system (TPOS). I TLB (TrafikBilder) redovisas en sammanställning av tågnummer och deras (eventuella) avvikelser på minutnivå (plustid betyder försening, minustid att tåget ligger före plan). Det finns ingen i realtid uppdaterad grafisk tågplan där man på översiktligt sätt kan överblicka och kommunicera aktuellt läge och förändringar i körplanen² (förutom på pappret/daglig graf som berörd fjärrtågsklarerare använder).

Var i järnvägsnätet och även tidpunkten på dygnet som en störningshändelse inträffar har stor betydelse för konsekvenserna och hur lång tid det tar att återställa trafiken; om störningen inträffar på enkelspår eller dubbelspår, om det är en högtrafikerad plats, tiden det tar för underhållsentreprenörerna att ta sig till anläggningen för avhjälpning av ett infrastrukturfel. Att ha kännedom om kritiska punkter i järnvägsnätet hjälper trafikledarna att agera snabbare och mer proaktivt, tex. vilken dag i veckan, vilket tid på dygnet eller vid vilken plats man behöver ha större beredskap för att snabbt hantera störningar för att undvika spridning. Enligt intervjuerna anses att kommunikationen ofta fungerar bra med nästa berörda klarerare, dvs. hen som handhar grannområdet. Däremot är det svårare att överföra information till tågklararare "längre bort" eller i ett annat TC. Det finns också många mjuka faktorer som påverkar omplaneringar såsom hur pass lätt det är att kommunicera, kontakta och komma överens med järnvägsföretag. Kännedom om antal resenärer sitter på tåg i stort läge är skulle kunna ge bättre omplanering.

Erfarenhet är jätteviktigt för att bli en skicklig och effektiv tågklararare, inte minst för att avancerade stödsystem saknas. Det tar flera år innan en tågklararare är fullärd. På vissa TC, framför allt i Stockholm/Öst, är personalomsättningen hög vilket är en komplicerande faktor som kan ha negativ inverkan på tågföringens kvalitet och hanteringen av störningar.

3 Störningars spårbarhet och datatillgång

För att undersöka om det går att spåra en enskild händelse har vi analyserat den data som finns tillgänglig, om datan är komplett och om det är tillräckligt för att kunna göra efteranalys.

¹ Vid TC Boden används datorsystemet STEG i stället för daglig graf, papper och penna för att, bland annat, konstruera nya tågplaner vid störningar. Mer information om STEG kan hittas i (Andersson, et al 2015).

² Undantag är STEG i Boden.

3.1 Tillgängliga data

För att studera störningars effekter gjordes en genomgång av data i Trafikverkets leveransuppföljningssystem Lupp. I Lupp sammanställs data från olika källsystem som Basun, Ofelia, Opera, mm, för att ge möjlighet till uppföljning och statistisk bearbetning.

En störningshändelse registreras i Basun om den orsakar mer än 3 minuters försening för tåget. Förseningsorsaker indelas vanligtvis i så kallade primära och sekundära förseningar. Primära förseningsorsaker är själva grunden till att förseningar uppstår och exempel på denna förseningstyp är infrastrukturfel eller fordonsfel. Sekundära förseningar är en följdorsak av de primära, med andra ord, en försening som är orsakad av att andra tåg är försenade. (Trafikanalys, 2013) Flera sekundära störningar kan kopplas till en och samma primära förseningsorsak.

Till merförseningar över 3 minuter måste en orsakskod registreras. Om det är sekundära förseningar är grundprincipen att de ska härledas till rotorsaken till förseningen (den primära förseningsorsaken). Orsakskodssystemet är uppbyggt av 3 nivåer där den första nivån grovt anger vilket område orsaken härletts till, t.ex. infrastruktur- eller fordonsfel. Nivå 2 och nivå 3 ger mer detaljerad information om förseningsorsaken. Trafikledningen ska alltid ange nivå 1 och nivå 2 medan nivå 3 inte är obligatoriskt att rapportera in. Nivå 3 kan rapporteras i efterhand av den som "äger" förseningen. Exempelvis orsakskoden "JDM 01", betyder att felet är orsakat av ett järnvägsföretag (J) som anger nivå 1, dragfordon/motorvagndel (DM) anges på nivå 2 och på nivå 3 anges 01 som indikerar ATC-fel. Dessutom finns en grupp koder som inte direkt hänvisar till en "händelse" utan pekar på ett annat tåg (följdförseningar) eller att man frångår grundprioriteringsprincipen (t.ex. försenar ett rätttidigt tåg framför ett sent). När dessa koder används ska alltid ett orsakande tågnummer anges.

Data om tågföring och avvikelser i Lupp är på minutnivå. Grunddatat (i Opera) är på sekundnivå, men det är lite mer komplicerat att få tag på det datat.

En händelserapport i Lupp kan se ut som i figur nedan. I kolumnen tågnummer visas alla tåg som har en registrerad försening på mer än 3 minuter och som är kopplade till denna händelse. Plats för merförsening redovisas liksom storleken på den registrerade merförseningen. Händelserapportens kolumnen Utförd tid motsvarar den tidpunkt merförseningen inträffade. Om man bara utgår från händelserapporten är det svårt se orsakssambanden mellan en händelse och de tåg som blivit störda.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Figur 2, Enskild händelserapport i Lupp.

I händelserapporten finns en kolumn om härledd merförsening (längst till höger i figuren), vilket även sammanställs på ett separat blad i rapporten. Härledd merförsening exemplifieras av följande händelsekedja:

- Anta att Tåg 1 först drabbas av ett lokfel och sedan av ett Signalfel
- Tåg 1 stör sedan tåg 2 med 10 minuter pga. ett tågmöte.
- Tåg 2 får orsakskod Följdförsening-Tågföring-Tågmöte, orsakat av tåg 1.
- Systemet letar bakåt i kedjan vad som var störningsorsaken för tåg 1,
- I den härledda merförseningen för tåg 2 fördelas de 10 minuterna ut på dels lokfelet och dels på signalelet.
- Fördelningen sker procentuellt utifrån storleken på tåg 1:s merförsening från lokfelet och signalelet.

Tåguppdrag	Plats	Sekundärstört tåguppdrag	Sekundärplats	Härledd merförsening
7616	Gemla	1048	Alvesta	1.60
	Gemla	531	Alvesta	1.13
	Gemla	7587	Gemla	1.60
	Gemla	7615	Skillingaryd	0.87
	Gemla	7615	Vaggeryd	3.75
	Värnamo	1048	Alvesta	0.80
	Värnamo	531	Alvesta	0.75
	Värnamo	7587	Gemla	0.80
	Värnamo	7615	Skillingaryd	0.58
	Värnamo	7615	Vaggeryd	2.73
	Växjö	1048	Alvesta	0.80
	Växjö	531	Alvesta	0.38
	Växjö	7587	Gemla	0.80
	Växjö	7615	Skillingaryd	0.29
	Växjö	7615	Vaggeryd	0.51
			Summa:	17.39
			Summa:	22.71

Figur 3, Härledd merförsening i en enskild händelserapport

531 14:21	Gåvetorp	Avgång	0				
531 14:24	Alvesta	Ankomst	3	Följdorsaker	Tågföring	Möte/Korsande tågväg	7615
531 14:26	Alvesta	Avgång	4				
531 14:29	Blädinge	Avgång	4				
531 14:32	Vislanda	Avgång	3				
531 14:35	Enerida	Avgång	4				
531 14:38	Diö	Avgång	4				
531 14:39	Diö Södra	Avgång	3				

Figur 4 Härledd merförsening rapporteras på ett tåg med ett tågnummer istället för händelsenummer

3.2 Datakvalitet

De kvalitetsgranskningar vi har gjort av data är utifrån ett "komplettetsperspektiv", dvs. finns data så att analyser om störningsspridning är möjliga. Vi har inte analyserat om registrerad data är korrekt i förhållande till verkligheten. Vi har inte heller gjort en helhetsanalys av datakvaliteten utan arbetat med stickprov (se även Appendix: Fallstudier).

De flesta händelser som är rapporterade i Lupp har en orsakskod. Det finns även kolumner som man kan använda för att ytterligare beskriva händelseorsaken, men där saknas ofta information. Ofta anges inte tredje nivån orsakskod.

Baserat på denna undersökning bedömer vi att det oftast finns tillräckliga data för att göra efteranalys. Det finns dock möjligheter till förbättrad datakvalitet genom en bättre rapportering av händelse. Några förbättringsförslag är tex.:

1. Starttid och Sluttid i händelserapporten är inte alltid korrekta: starttiden verkar vara någorlunda korrekt medan sluttiden ibland verkar felaktig.
2. I Lupp saknas data om lokvändning och personalomlopp. Dessa data ägs av järnvägsföretag och Trafikverket har inte tillgång till dem. Viss spårbarhet för fordonsvändningar finns, men för att komma åt dem måste man ha expertbehörighet i Lupp, vilket normalanvändare inte har.
3. Ett tåg med fordonsfel får J-koden (exempelvis ATC-fel). När tåguppdraget byter till nytt tågnummer får det istället koden, Stört av annat tåg. (Detta korrigerades rättades i mitten av maj 2016 men påverkar inte historiken. Även om ett tåguppdrag idag byter tågnummer en eller flera gånger kommer tåguppdraget alltid få J-koden.)
4. I Lupps standardrapport om händelser vore det bra om tågnumret var klickbart och öppnade en länk till tågföringsrapporten för tåget den aktuella dagen. Förslaget framfördes till Lupp-förvaltningen och de har tagit hänsyn till förbättringsförslaget och denna funktion finns nu i Lupp
5. Eftersom det inte registreras någon händelse för de godståg som är tidiga i sin tidtabellskanal finns det inte möjlighet att undersöka den faktiska spridningen då de tappar tid i förhållande till tidtabellen. Exempel: Tåg 15321 är 21 minuter före sin tid i Gåvetorp men i Alvesta hamnar det 15 minuter efter planerad tid. "Tidstappet" när tåget är för tidigt i Gåvetorp registreras inte alls och i Alvesta registreras bara 15 minuters merförsening, trots att tåget tappade 36 minuter i Alvesta (se figur nedan).

15321	11:18	Moheda	Avgång	-13					
15321	11:23	Gåvetorp	Ankomst	-14					
15321	11:31	Gåvetorp	Avgång	-21					
15321	11:36	Alvesta	Avgång	15	Följdorsaker	Stört av annat tåg			1636861
15321	11:41	Blädinge	Avgång	17					

Figur 5 Lupp-registrering gällande förseningar för ett tåg som går före sin kanal. Sju minuters tidtapp i Gåvetorp registreras inte alls, och av tidstappet på 36 minuter i Alvesta registreras endast 15 minuter som merförsening.

4 Mätning av störningsspridning

Mått, mätetal eller KPI är viktiga både för att bedöma nuläget och för att avgöra om genomförda åtgärder ger förväntad effekt. Mått kan dels tas fram i efterhand genom mer eller mindre komplexa analyser av utförd verksamhet, medan mått som kan erhållas snabbt även kan användas som verktyg i den operativa driften. Det är viktigt att ett mått verkligen mäter det man vill styra på, så att man dels förstår hur man ska erhålla en positiv förändring av måttet, och framför allt att en positiv förändring av måttet verkligen motsvarar en positiv förändring av verksamheten.

I detta avsnitt diskuteras de viktigaste måtten som Trafikverket idag använder för störningar. Vi föreslår även kompletterande mått som på ett bättre sätt fångar upp störningars spridning.

De analyser vi föreslår ger nya möjligheter att bearbeta och sammanställa data som på ett effektivare sätt beskriver om en störning har stor eller liten spridning. De mått vi föreslår ger ett underlag till att

identifiera samband mellan störningar, deras spridning och resulterande punktlighet så att man på ett bättre sätt kan identifiera vilka störningar som har påverkan på punktligheten. Notera att måtten inte kräver något ny indata än den som redan registreras i Lupp.

4.1 Mått på störning, störningsspridning och försening

Det är viss skillnad på att mäta en störning och en störnings spridning. Mått på störningar är ofta "punktformiga" eller "endimensionella" medan mått på störningsspridning bör vara "flerdimensionella" och ta hänsyn till tidsmässig och/eller geografisk utsträckning. Som exempel mäts en störning ofta i antal störningstimmar som en händelse orsakade. Måttet säger då inget om hur länge denna störning "levde" eller hur långt bort tåg direkt eller indirekt påverkades av störningen, och framför allt säger det inte direkt något om resulterande förseningen vid slutstationen. Fysikaliskt kan man jämföra med ett föremåls massa och dess tröghetsmoment, där massa är oberoende av hur föremålet spatialt är utformat (kompakt eller utsträckt) medan tröghetsmomentet är ett mått på både massan och dess utsträckning i rummet. I många sammanhang är det endimensionella måttet massa tillräckligt och enklare att förstå, men vid analys av rörelser är det flerdimensionella måttet tröghetsmoment mer lämpligt, då det på ett noggrannare sätt kan användas för att beskriva rörelser och rotation.

I detta avsnitt använder vi följande definitioner³:

En *störning* eller *händelse* är något som påverkar tåget så att det får en ökande tidsavvikelse i förhållande till sin planerade tidtabell, alltså blir senare i förhållande till sin kanal. En störning kan påverka ett eller flera tåg.

Försening är den "aktuella" (positiva) differensen mellan den planerade ankomsttiden enligt tidtabell till en driftplats eller mätpunkt och den verkliga ankomsttiden till samma driftplats eller mätpunkt. Förseningen kan alltså växa eller krympa under färden. Förseningen mäts vid ankomst till varje driftplats. Försening är resultatet av merförseningar och återhämtningar. (Om avvikelsen är mot tidtabellen är noll minuter eller om tåget ligger före sin tidtabell säger vi att förseningen är noll minuter.)

En *merförsening* är en försening jämfört med körplanen i första mätpunkten, eller tillkommande försening mellan två mätpunkter som följer direkt efter varandra i Trafikverkets system för avvikelser. Flera merförseningar (vid olika platser) för ett och samma tåg kan bero på samma störning. Merförseningar som är 3 minuter eller mer orsakskodas (kopplas till en händelse), mindre merförseningar orsakskodas inte.

Återhämtning är en minskning av förseningen, dvs att tåget kör ikapp och minskar avvikelsen mot tidtabellen.

Slutförsening är tågets försening vid ankomsten till dess slutstation.

Punktlighet är Trafikverkets viktigaste mått på kvalitet i tågföring. I uppföljning och officiell statistik räknas tåg med en slutförsening på mer än 5 minuter och 59 sekunder som "försenade" medan tåg med mindre avvikelse räknas som de är "i tid".

Störningsspridning motsvarar att den försening som en händelse/störning skapade sprider sig

³ För att förenkla definitionerna antar vi att tåget inte ligger före sin tidtabell. Det går att utöka definitioner och resonemang så att även för tidiga tåg inkluderas, men gör bara beskrivningen onödigt krånglig för denna förstudie.

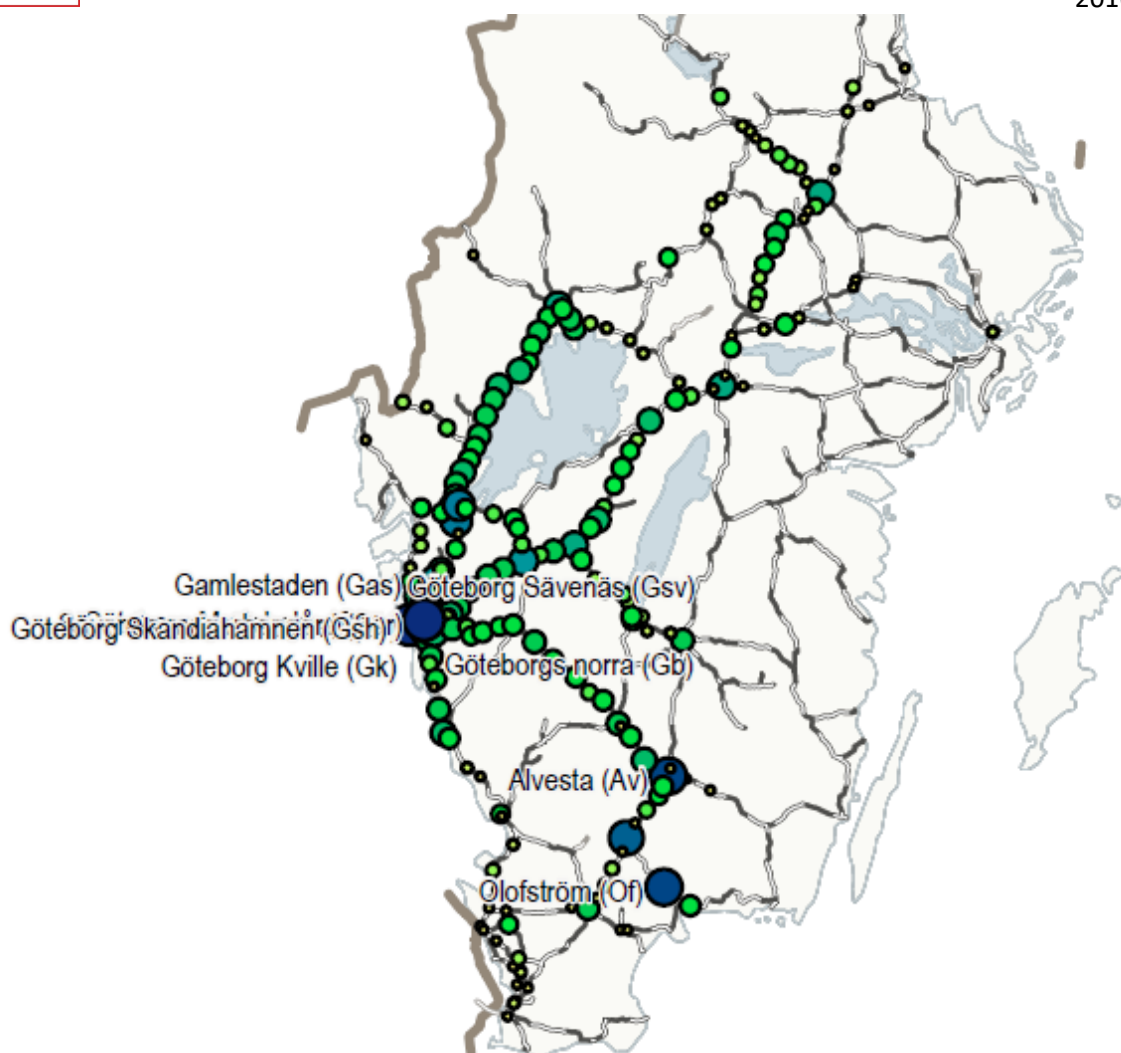
geografiskt för det primärt störda tåget, och eventuellt även till sekundärt störda tåg – som blir störda p.g.a. att det primärt störda tåget är försenat. Störningsspridning sker både i tiden och rummet, dvs. ett tåg som störts vid driftplats A klockan 10.00 kan ha en försening som inte helt återhämtats vid driftplats C kl. 11.00. Ett specialfall av störningsspridning är slutförseningen, dvs störningens geografiska spridning till slutstationen.

En *störning dör* då all merförsening som kopplas till störningen är återhämtad. Störningen dör också då tåget ankommer slutstationen.

4.2 Trafikverkets mått

Trafikverkets huvudsakliga mått på en störning är den totala *merförseningstid* (primär och sekundär) som störningen har genererat. Merförseningar som är 3 minuter eller mer registreras, dvs kopplas till den händelse som anses vara grundorsak till merförseningen, medan merförseningar som är mindre än 3 minuter inte registreras (orsakskopplas). Noggrannare beskrivning finns i avsnitt 3. Mått på störningar beskrivs även i (Warg et al 2014).

I samband med större störningar tar Trafikverket ibland fram en störningskarta, där man med cirklar på en kartbild över Sverige markerar var det finns registrerade merförseningar som är kopplade till störningen, se figur nedan. Denna karta är en sorts illustration av en störnings spridning, eller mer korrekt uttryckt, störningens spridning av merförseningar större än 3 minuter. Såvitt vi vet finns det inget sammanställt mått som mäter störningars spridning.



Figur 6: Kartbild som visar registreringar av merförseningar kopplade till en viss (större) händelse/störning (Olskroken20160321). Notera att cirklar markerar platser där merförseningar registrerats, däremot illustrerar inte kartan platser där tåg är försenade pga störningen. Källa: Trafikverket.

Det viktigaste förseningsmåttet för Trafikverket – det som kvaliteten i trafiken i huvudsak utvärderas på – är andel tåg som har en slutförsening på mer än 5 minuter och 59 sekunder. Trafikverket använder alltså ett mått på orsaker – merförseningstid – och ett annat mått på resultatet – försening vid slutstation⁴.

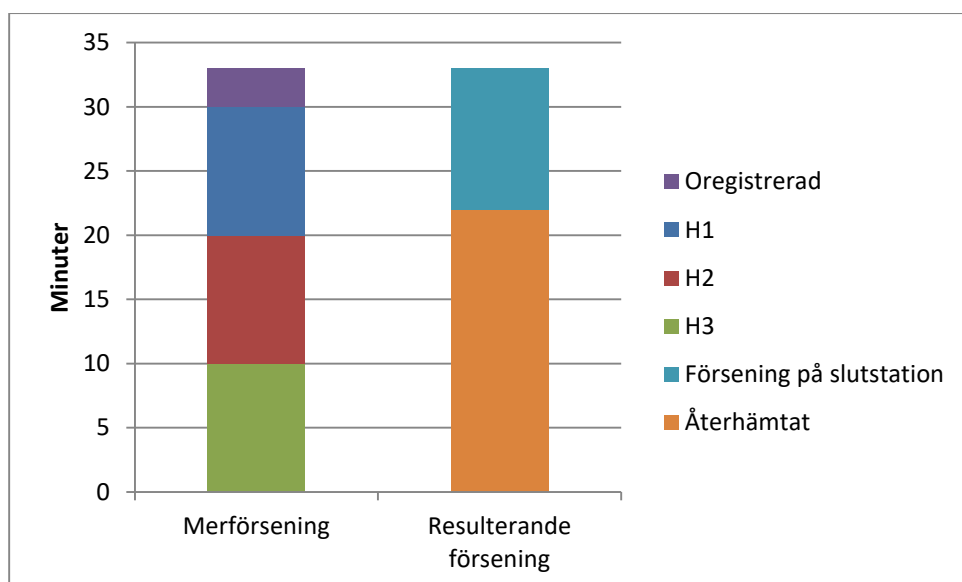
I figurerna nedan illustreras dels försening och återhämtning under ett tågs färd, samt i stapeldiagrammet tolkas samband mellan registrerade och oregistrerade merförseningar, återhämtning och resulterande slutförsening för ett exempeltåg. Samma exempeltåg (som vi kallar för 4711) används vidare i kapitlet.

⁴ Inom TTT har man dessutom gjort många nedbrytningar av rotorsaker till merförseningar, t.ex. om merförsening beror på fordon, infrastruktur, trafikledning, etc.

Beskrivning av exempeltåget: Tåg 4711 utgår från station A, passerar driftplatserna B-Y och ankommer till slutstation Z. För tåget inträffar tre oberoende (registrerade) merförseningar (som vi kallar H1, H2 respektive H3) vid stationerna D, L och S, vardera merförsening är 10 minuter. På de övriga driftplatssträckorna sker mindre merförseningar respektive återhämtning. Y-axeln i diagrammet motsvarar Aktuell försening vid respektive driftplats, alltså aktuell avvikelse mot tidtabellen.



Figur 7: Diagram illustrerande försening för exempeltåget 4711 vid en fiktiv resa från station A till Z. Vid driftplatserna D, L och S inträffar oberoende händelser (kallade H1, H2 och H3) som ger upphov till merförseningar på 10 minuter vardera. Dessutom finns mindre ("oregistrerade") merförseningar.



Figur 8: Diagram illustrerande registrerad och oregistrerad merförsening samt återhämtning och kvarvarande slutförseningen på slutstationen för exempeltåget.

Måttet total merförseningstid är enkelt att få fram (så länge registreringar är korrekta) och det har en tydlig intuitiv tolkning. Det är också rättfram att göra uppdelningar på olika händelsetyper och orsaker till händelser/störningar för att därifrån göra samlad statistik.

Måttet total merförseningstid ger dock ingen information om störningarnas tidsmässiga och geografiska utsträckning. Merförseningsmåttet ger heller ingen information om störningen har återhämtats eller inte - merförseningstiden blir densamma om en störning återhämtar sig snabbt eller om störningen "lever länge" och har lång återhämtning. I mätning av merförseningstid "dör" en händelse då en ny merförsening med annan grundorsak registreras till tåget, vilket gör att det är svårt att spåra hur länge störningen "lever kvar".

I Trafikverkets data och mått saknas en koppling mellan orsakande merförsening och den resulterande slutförseningen på slutstationen, så det finns inget direkt sätt att avgöra vilka merförseningar som återhämtats och vilka förseningar som kvarstår när tåget kommit till slutstation. Ett tydligare sätt att koppla merförseningar till de kvarstående förseningarna på slutstationen skulle kunna användas för att än mer tydligt identifiera de störningstyper och geografiska platser som leder till mest störningar på slutstation.

4.3 Alternativa mått

Vi föreslår två förändringar för mätning av störningar. Det första är att koppla ihop störning och återhämtning för att kunna avgöra hur en störning fortplantar sig under ett tågs körtid. Man kan då få en koppling mellan händelse och förseningar på slutstationen, så att man kan analysera storleksbidraget från olika händelser till slutförseningen. Det andra förslaget är att mäta störningars spridning i form av hur många "minutkilometers" störning de orsakar, vilket fångar upp den geografiska fortplantningen av störningen. Detta kan ge en möjlighet att t.ex. identifiera särskilt känsliga platser eller tidpunkter då störningar får extra stor spridning.

Vi vill poängtera att det finns olika sätt att i detaljerna definiera den typ av mått som vi föreslår och det har inte varit möjligt att inom ramarna för denna förstudie värdera alla alternativa detaljformuleringar. Vi vill dock belysa att den typ av mått vi föreslår kan skapa mervärde och ge kompletterande information till befintliga mått och statistik. Man bör studera alternativ i en fördjupad studie som fokuserar just på mått för spridningseffekter. Inom denna förstudie gör vi inte skillnad på hantering av godståg och persontåg, vilket dock kan vara relevant på grund av deras olika kravbild på t.ex. undervägs punktlighet eller möjlighet att ligga före tidtabellen.

4.3.1 Spridning av störningar till slutstation: koppling mellan händelse och slutförsening

För att mäta störningars spridning och deras effekt föreslår vi att man mäter störningens utsträckning i tid och/eller rum, dvs. hur störningen orsakar en försening som fortlever och eventuellt återhämtas. Genom att mindre fokusera på merförseningar och mer på störningars fortlevnad kan man göra en tydligare koppling mellan orsakande störning och resulterande försening ända fram till slutstationen, vilket kan göra att man tydligare kan bena ut vilka händelser som är viktigast att åtgärda eller vilka platser som är mest kritiska för att förbättra punktligheten. Dessutom kan man få en koppling mellan

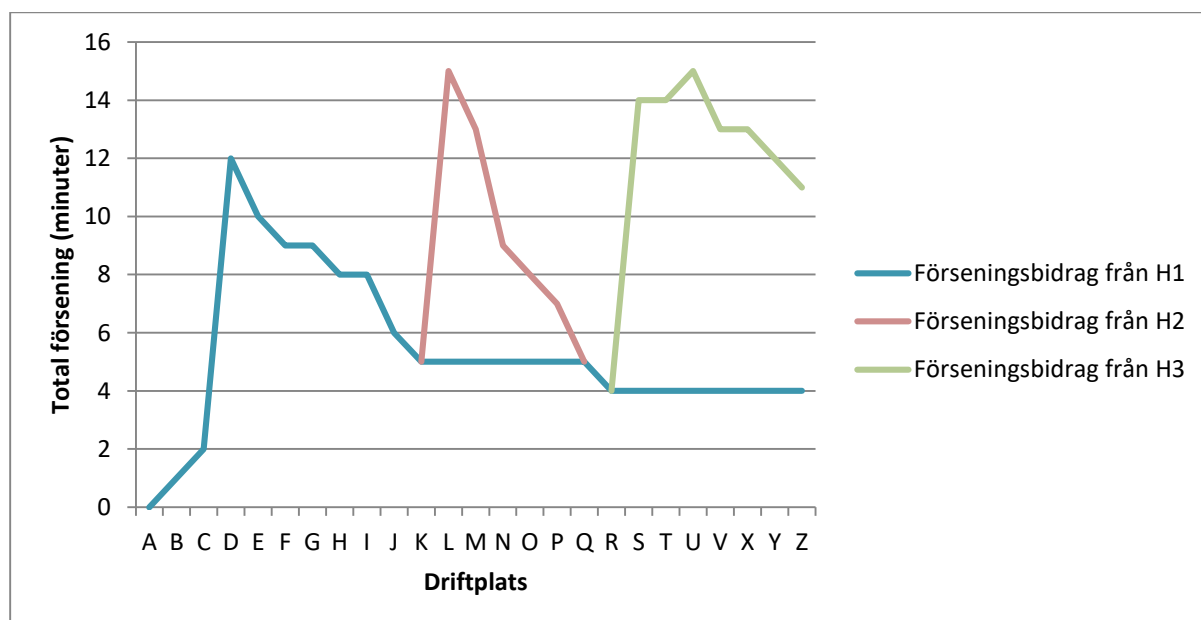
störning och slutförsening så att man kan analysera vilka störningar som orsakat en slutförsening. Detta förklaras och illustreras nedan.

Om man ska definiera en livslängd/utsträckning på störningar, måste man även ta hänsyn till återhämtning. Då får man en möjlighet att fördela en försening vid en viss station på de orsakande störningarna.

Vi definierar följande grundantaganden för störning, försening och återhämtning:

- 1) Om ett tåg som redan har en försening (från störning H1) råkar ut för ytterligare en merförsening H2 på station B, så lever förseningen från H1 kvar på den förseningsnivå den har då störning H2 inträffar.
- 2) Då tåg återhämtar en störning, tillskrivs återhämtning till den senast inträffade störningen som ännu inte är fullt återhämtad.
- 3) En störning "dör" då förseningen åter är på samma nivå som när störningen inträffade. (Störningar dör också på slutstationen.)

Vi beskriver detta med exempeltåget 4711. Diagram i figuren nedan visar hur den totala förseningen fördelas på de olika händelserna. Innan händelse H2 inträffar är tåget 5 minuter sent, och efter händelse H2 inträffat så ligger händelse H1:s bidrag till totala förseningen kvar på 5 minuter. Återhämtning som görs efter händelse H2 har inträffat associeras till händelse H2 så att H2:s förseningsbidrag minskar. Då H2 är helt återhämtad, associeras ytterligare återhämtning till H1 (vid driftplats R). Vid driftplats S inträffar H3, och försening/återhämtning därefter associeras till H3, så att H3:s förseningsbidrag minskar medan H1:s förseningsbidrag ligger kvar på 4 minuter.



Figur 9: Fördelning av försening och återhämtning till olika händelser. Återhämtning och registrerad merförsening kopplas alltid till den senaste registrerade händelsen/merförseningen som ger ett förseningsbidrag.

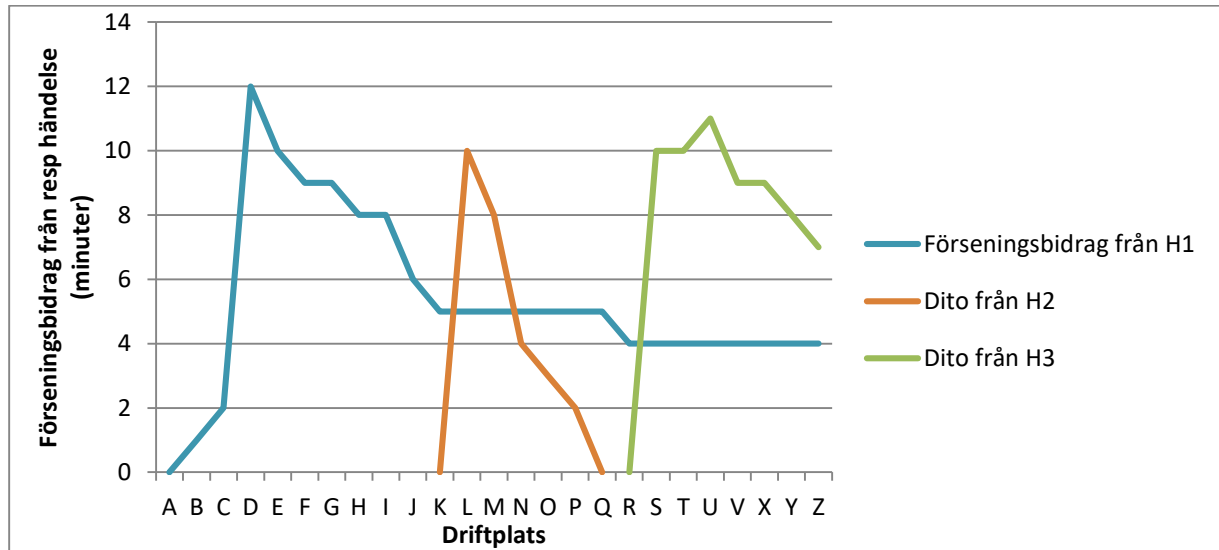
Återhämtning kan naturligtvis associeras till händelser på flera olika sätt, vilket kan ge andra förseningsbidrag från störningar till slutförsening. Skälet till att associera en återhämtning till den

senaste inträffade händelsen är att vi vet att återhämtning skett då händelsen inträffat, men vi vet inte om någon återhämtning skulle ha skett om den senaste händelse *inte* hade inträffat. En alternativ fördelning av återhämtning är att fördela den proportionellt mellan de tidigare händelserna. Hur man än gör fördelningen är det dock rimligt att H1:s och H2:s totala bidrag till slutförsening inte är större än 4 minuter, eftersom det är förseningen då H3 inträffar. Det vi vill framhålla är att det kan skapa värdefull information att göra koppling mellan händelse och återhämtning på något (rimligt) sätt, för att kunna koppla störningshändelser till slutförseningar. Den exakta användningen för Trafikverkets vidare användning bör detaljeras vidare i en uppföljande studie.⁵

Det är naturligtvis alltid viktigt att orsakskodningen är korrekt och konsistent så att man får rätt koppling till grundhändelser. Om ett tåg får en första störning H1 och då kommer ur sin kanal, och sedan får en ytterligare merförsening (t.ex. tågmöte) som tydligt beror på att tåget kommit ur sin kanal, bör även den senare merförseningen kopplas till H1.

Genom att ta hänsyn till både livslängd på störningar och återhämtning kan vi göra en koppling mellan förseningen på slutstationen och de händelser som tåget råkat ut för. I exemplet i figur nedan har tåget en slutlig försening på 11 minuter, vilket vi kan fördela med 4 minuter som beror på händelse H1 och 7 minuter som beror på händelse H3. Därigenom kan vi få en tydligare koppling mellan händelser och punktlighet, vilket ger en möjlighet att identifiera händelser som har stor inverkan på punktligheten. Likaså kan man identifiera om det finns särskilda platser som ger extra stort bidrag till försämrad punktlighet. Härigenom får vi alltså ett mått på störningars spridning till slutstationen.

⁵ Med vår tolkning kommer den första störningen för ett tåg att vara svårast att återhämta och sprider sig alltså mer än senare störningar under tågets resa. Möjlighet till återhämtning har också en stark koppling till slacktid, till trafikledaren och prioriteringar. Dessa frågor och andra bör analyseras vidare i en fortsatt studie.

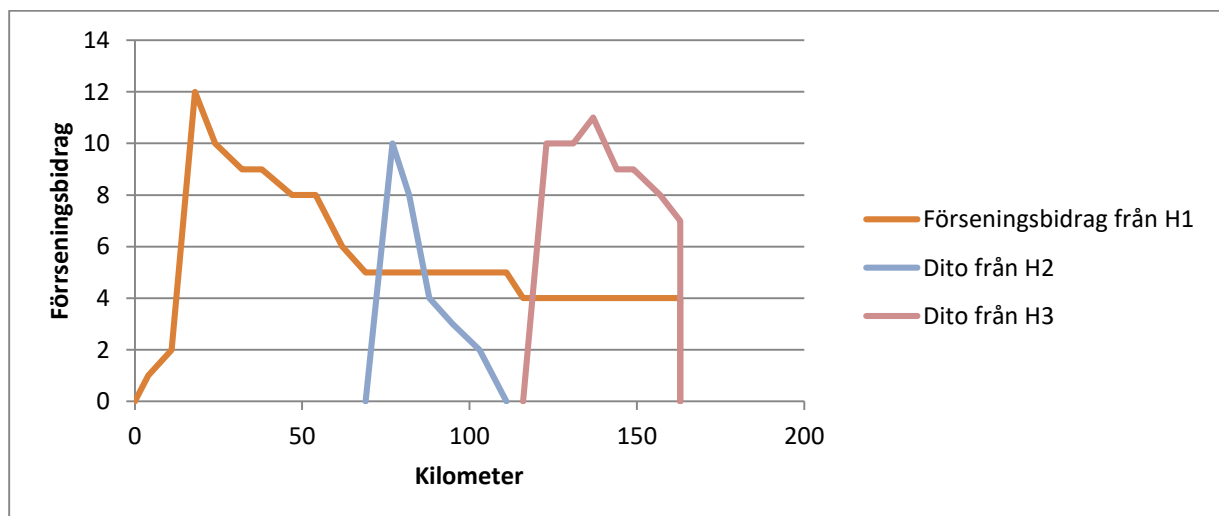


Figur 10: Förseningsbidrag från respektive händelse under resans gång och vid slutstation. Vid slutstationen är förseningen 11 minuter, varav 4 minuter härleds till H1 och 7 minuter till H3.

Som ett exempel på en intressant fördjupning kan man kartlägga X2000 från Malmö till Stockholm för att avgöra vilka sorters störningar och vid vilka platser som ger störst bidrag till slutförseningen.

4.3.2 Spridningsmått för störningar

Man kan också skapa ett allmänt mått för störningars spridning. Figuren nedan representerar samma exempeltåg 4711, men x-axeln har skalats om och ersatts med kilometer från station A. Ytan under kurvan för H1 är ett mått på störningens storlek och spridning, liksom ytan under kurvan för H2 är ett mått på störningsspridning från händelse H2, osv. Detta spridningsmått mäter störningens "minutkilometer", dvs. produkten (integralen) av antal förseningsminuter och antal kilometer som störning fortlever. Störningar med stor "minutkilometer" har större spridningspåverkan än störningar med liten "minutkilometer".

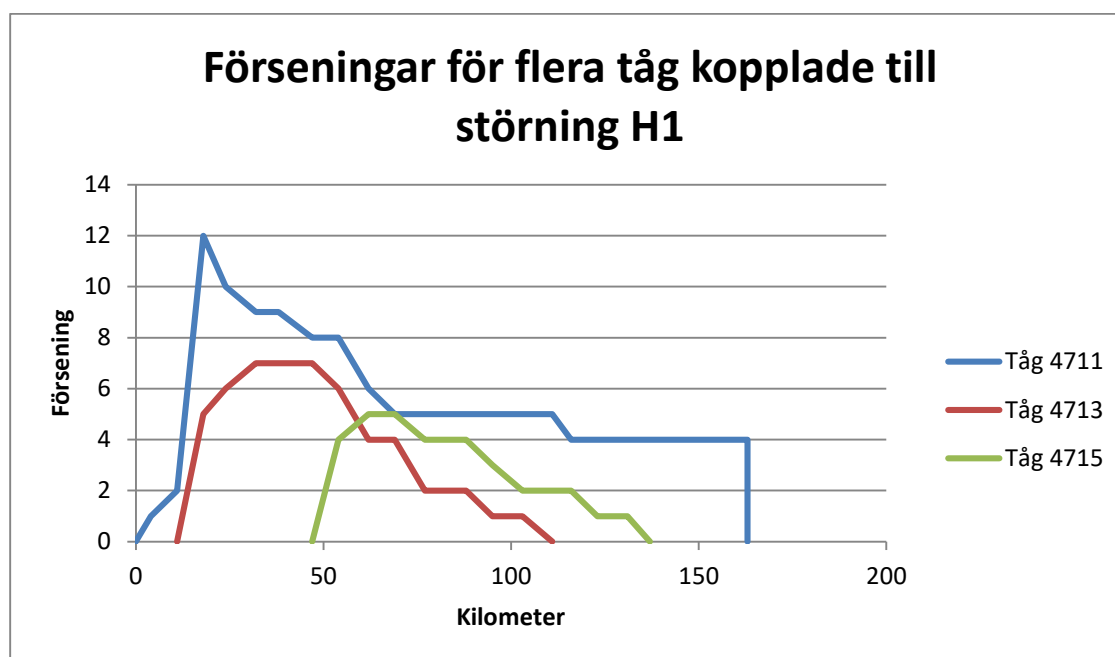


Figur 11: Förseningsbidrag från respektive händelse med x-axeln given i kilometer (i stället för driftplatser). Ytan under respektive kurva motsvarar händelsens spridning mätt i "minutkilometer".

Händelse	Spridning i minutkilometer
H1	893
H2	166
H3	382

Tabell 1: Spridning av respektive händelse, mätt i minutkilometer.

Flera tåg kan ha merförseningar som är kopplade till en och samma händelse H1. Det totala spridningsmåttet för denna händelse H1 får genom att summera respektive tågs bidrag till störningsspridningen, enligt nedanstående figur och tabell⁶.



Figur 12: Tre olika tågs försening som associerats till händelse H1.

Tåg	Spridning i minutkilometer
4711	893
4713	392
4715	257
Totalt H1	1542

Tabell 2: Spridning av händelse H1, mätt i minutkilometer (påhittat exempel kopplat till figur ovan).

Det bör vara intressant att analysera hur olika störningar sprider sig, t.ex. beroende på plats eller tidpunkt de sker, för att identifiera extra känsliga perioder på dagen eller platser där störningar får extra stor spridning. Troligt är att spridning har ett starkt samband med utnyttjandet av banan, vilket ger olika utfall på olika banor.

⁶ I denna rapport antar vi att alla tåg trafikerar samma sträcka så att kilometeravståndet från händelse H1 är rättfram att räkna ut. Vid spridning till sekundära tåg kan komplikationer i t.ex. avståndsberäkning uppstå, vilket vi inte går in på i denna rapport. Det är dock fullt möjligt att reda ut dessa komplicerande detaljer.

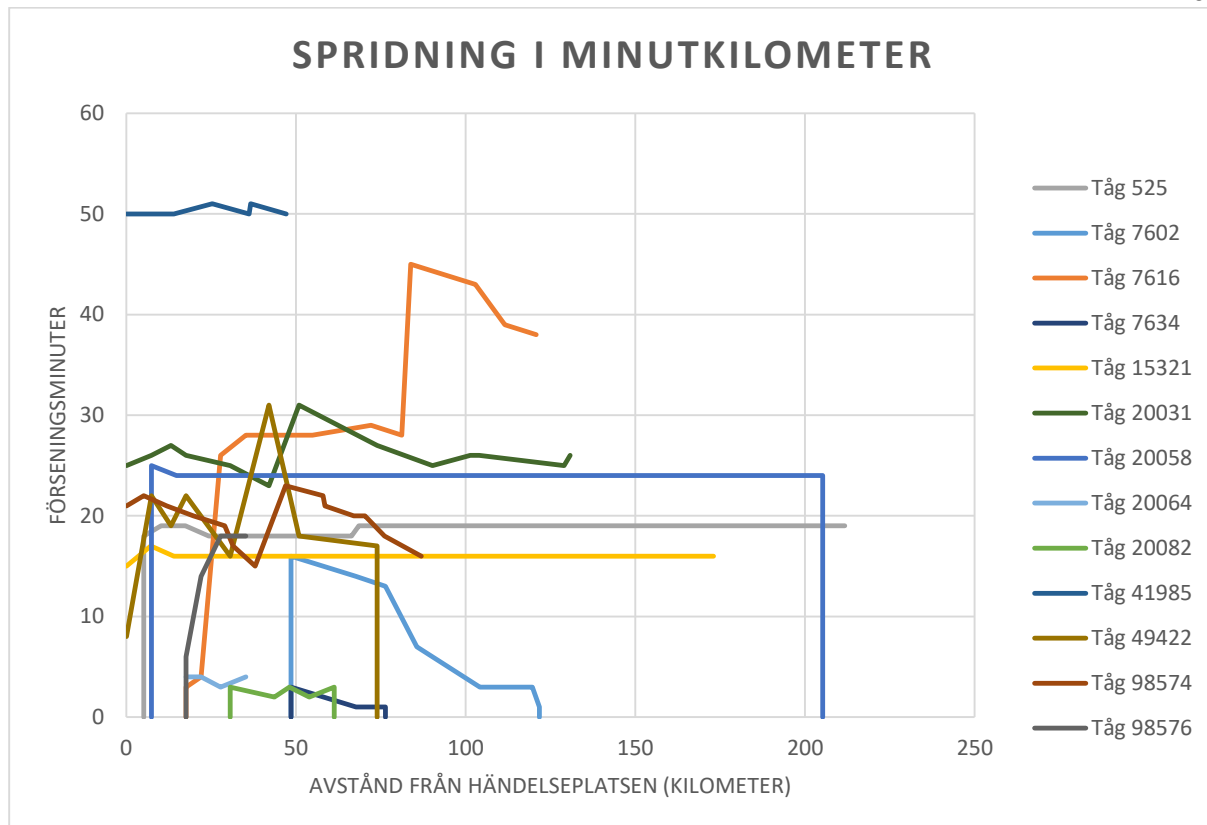
5 Sammanfattning av fallstudierna

Som en viktig aktivitet i denna förstudie genomfördes en fallstudie kring några störningshändelser. De studerade fallen var fyra relativt små händelser i TLO Syd. Avsikten var att undersöka om det går att göra efteranalys av händelser och förstå varför störningen spridits som den gjorde, om data är av tillräcklig kvalitet och vilka analyser som är möjliga att göra.

Vi studerade varje händelse för att avgöra om det gick att identifiera effektsamband mellan händelsen och de drabbade tågen. Först genom att granska dagliga graf⁷ för att identifiera geografiskt samband, dvs huruvida de drabbade tågen passerade händelseplatsen. Men eftersom dagliga grafen visar *planerat* körschema för tåg så var det ibland svårt att förstå varför ett tåg blivit primärt stört eftersom tåget enligt daglig graf skulle passera händelseplatsen redan *innan* händelsen inträffat. Genom att kombinera daglig graf med data om tågföringar i Lupp för de tåg som har registrerad merförsening av just de händelserna kan man få insikt i varför just de drabbade tågen drabbats. Tågföringsdata i Lupp innehåller tågnummer, planerad tid, plats, avgång/ankomst, avvikelse från körplanen och händelsenummer för de tider som tåget har en registrerad merförsening. Genom att studera tågföringar kunde vi hitta troliga och rimliga effektsamband för alla drabbade tåg vid de fyra studerade händelserna.

Baserat på beskrivningarna i avsnitt 4.3 om alternativa mått för störningsspridning, har vi beräknat de 4 fallens fördelning av totalförsening över tid och även händelsens geografiska spridning i minutkilometer. För att räkna spridningen i minutkilometer, räknade vi avståndet från händelseplatsen till varje driftplats i tågföringstabellen för respektive tåg. Bilden nedan visar hur en störning som ATC-fel för ett tåg i Alvesta sprider sig i kilometeravstånd från Alvesta. Diagrammet visar att många tåg är försenade långt bort från händelseplatsen. I beräkningarna och diagram i detta avsnitt antar vi att förseningar som uppstår till följd av en viss händelse återhämtar sig enligt beskrivning i avsnitt 4.3. Notera att *merförsening* för dessa tåg kopplat till denna händelse endast gjorts på de platser förseningen ökar med tre minuter eller mer.

⁷ <http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/tagplan-att-skapa-tidtabeller-for-tag/Aldre-tagplan/Tagplan-2015/dagliga-grafer-2015/>

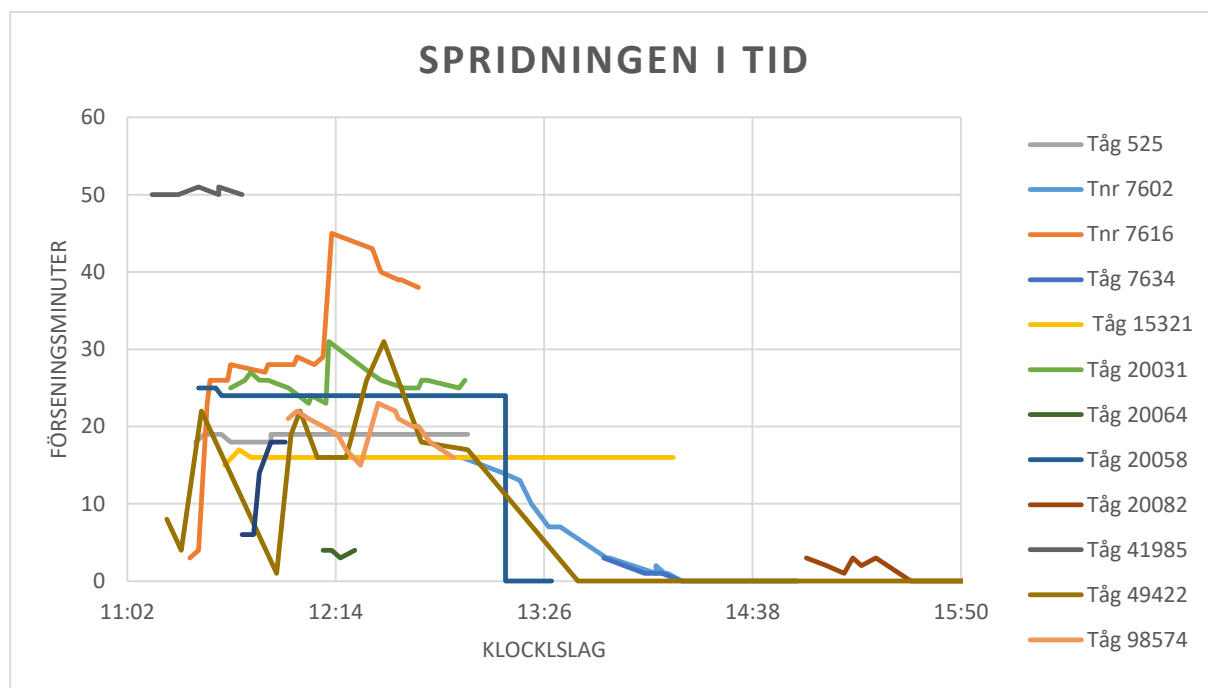


Figur 13 Störningsspridning i kilometer avstånd från händelseplatsen

Arean under varje kurva ("integralen" respektive kurva) ger ett störningsspridningsmått i minutkilometer för varje tåg. Detta mått ger en annan dimension på spridningseffekten av en störning än merförseingsmåttet. I tabellen nedan sammanfattas de fyra studerade fallen. För varje händelse anges total merförseining enligt Lupp, geografisk spridning i minutkilometer enligt avsnitt 4.3, maximum av total förseiningen under händelsens livslängd för de inblandade tågen, störningens livslängd tills den "dött" samt största avståndet från händelseplatsen där förseining lever kvar. I tabellen ser man att t.ex. att störning 61 och 63 har ungefär lika stora merförseiningar, men händelse 63 har betydligt större spridning i både tid och rum och även större maxförseining. Bakomliggande orsaken till störningens större spridningsmått är framför allt att drabbade tåg åker långt från händelseplatsen och att förseining från störningen alltså har en lång livslängd innan den dör. Man kan även se att händelse 16 har ungefär halva merförseiningen jämfört med 61, men händelse 16s spridning är i samma storleksordning och dess livslängd är större än för händelse 61. Det kan tex. bero på att händelseplatsen i händelse 16 är Malmö C jämför med 61an som har Alvesta som händelseplats.

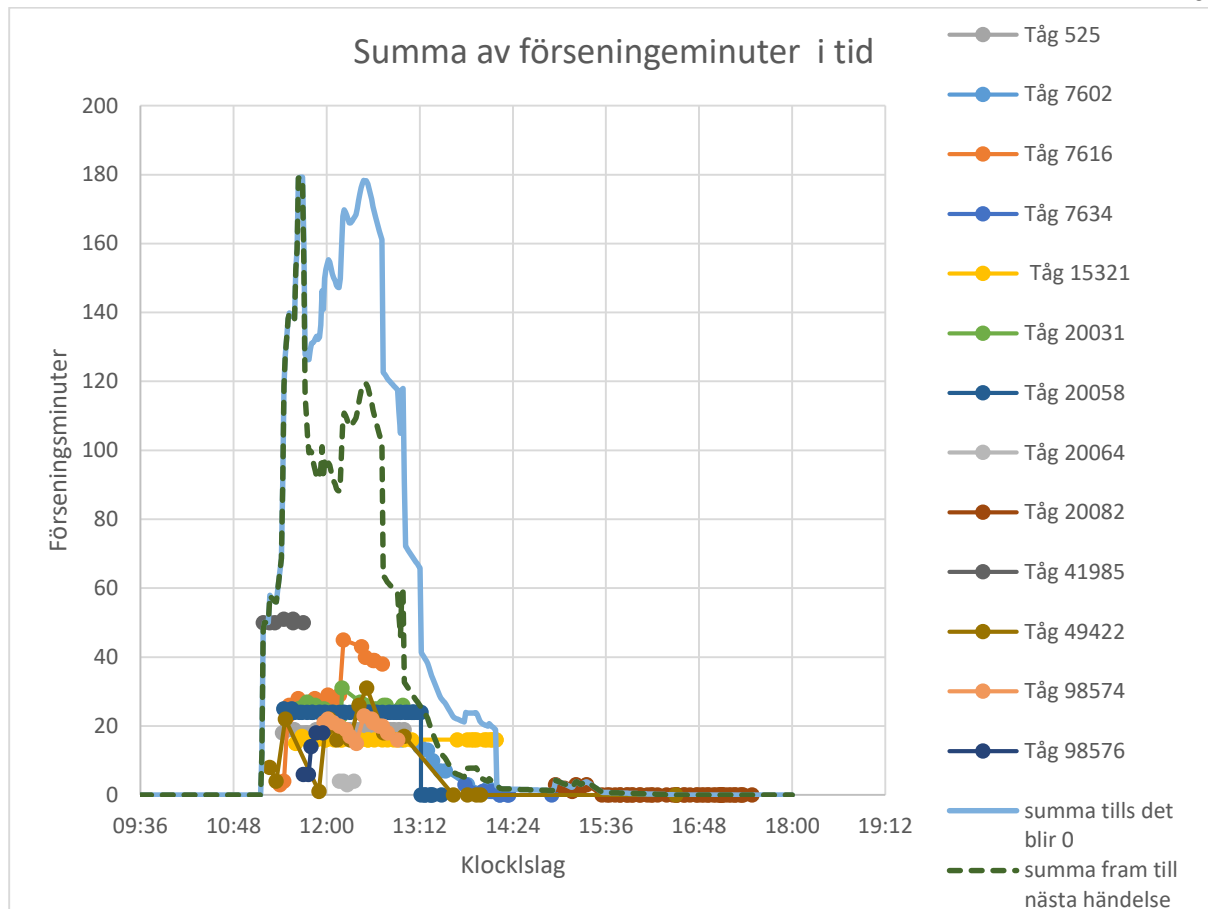
Händelse nr	Total merförseining (minuter)	Spridning i minutkilometer	Max spridning (kilometer)	Max total förseining (minuter)	Störningens livslängd (minuter)
1636861	317	24714	212	179	319
1844563	305	37668	546	241	202+401
1780316	163	24472	316	111	420

Ett annat mått är att hur lång tid en händelse påverkar ett tåg, i bilden nedan illustreras tidsmässiga spridningen och fortlevnaden av tågförseningar till följd av händelsen i Alvesta, x-axeln är tid på dagen.



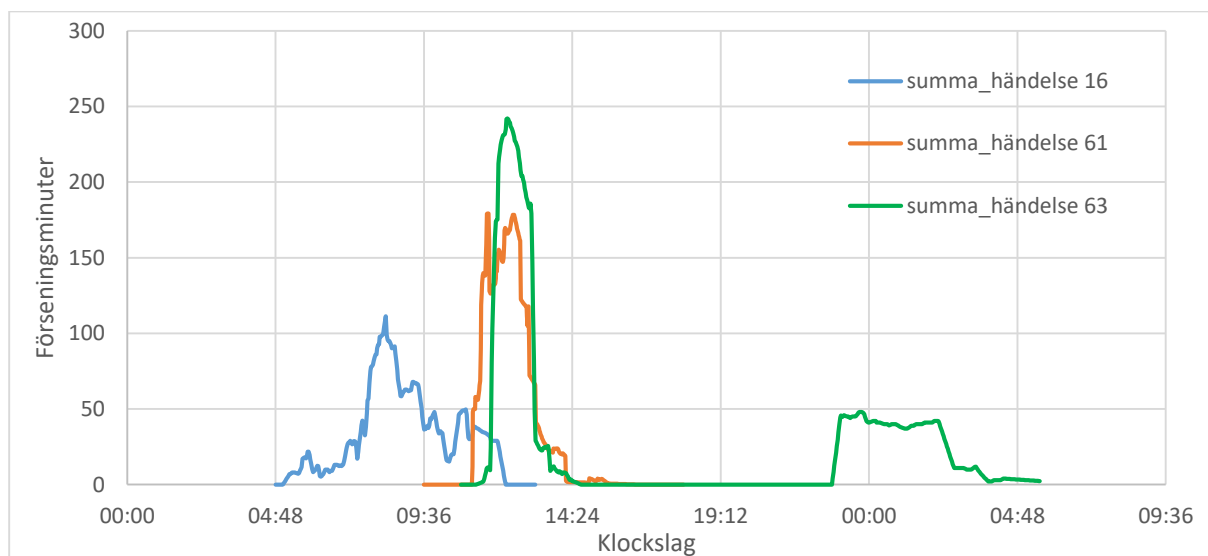
Figur 14 Försening och återhämtning för de tåg som drabbades av störningen i Alvesta

För att kunna visa totala spridningen i tid har vi summerat förseningar för alla drabbade tåg. Från tillgängliga (punktvisa) data om tågets tid och avvikelse vid varje driftplats, skapade vi en kontinuerlig funktion genom att interpolera mellan punkterna (dvs "dra raka streck" mellan punkterna). Då kan man uppskatta varje tågs försening vid varje tidpunkt och även summera förseningen för alla inblandade tåg vid varje tidpunkt.



Figur 15 Förseningsminuter för de tåg som påverkades av Alvesta händelsen samt sammanlagda förseningsminuter

Genom att summera förseningsminuter i tid kan vi jämföra olika händelser över tiden. Figur nedan visar totala förseningen orsakad av olika händelser och man ser att olika händelser har olika karaktäristik över tiden.



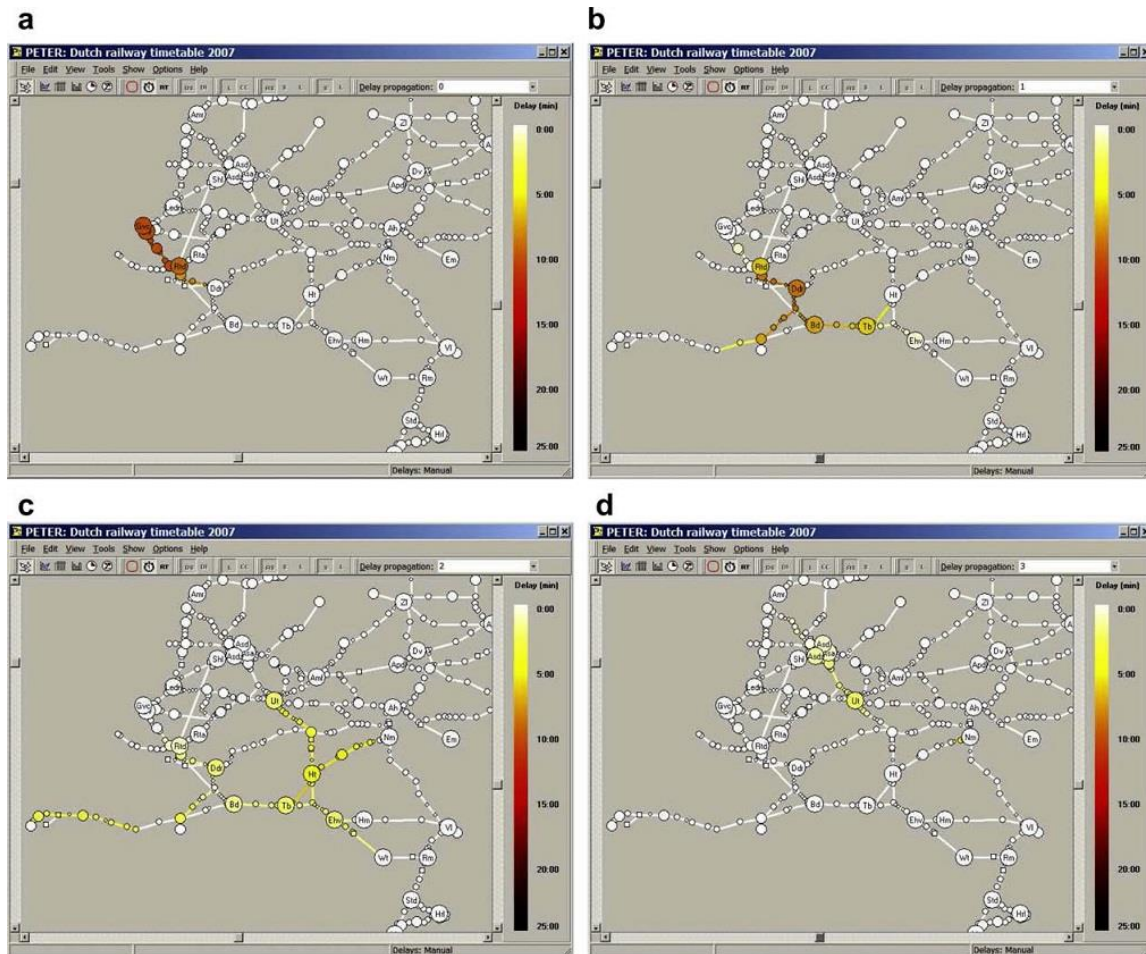
Figur 16: Summa av total förseningsminuter för varje händelse

6 Visualisering

Genom att visualisera data får vi mer värde av de insamlade data genom att komplex information blir lättare att ta till sig. Visualisering av en störnings spridning på en karta innehåller mycket mer information om händelsens utveckling i nätet än vad som kan beskriva i en händelserapport. Visualisering av störningsspridningen kan hjälpa trafikledare/trafikplanerare att göra bättre analys och öka förståelse av konsekvenser av både händelser och åtgärder. En sorts visualisering finns idag via Tågkartan (<http://www.tagkartan.se>) som mha GPS-data och Trafikverkets tågplan i realtid beräknar var svenska persontåg och godståg befinner sig. I tågkartan går det att se om ett tåg är försenat och hur mycket det är försenat. Precisionen beror på tillgänglighet till GPS data och datakvalitet. Ett annat exempel på visualisering av trafikläget för Bostons tunnelbana visas på <http://mbtaviz.github.io/>

6.1 Geografisk spridning

En sorts visualisering om störningars spridning tas ibland fram redan idag, vilket exemplifieras i figur 6 på sidan 15. Visualiseringen i Figur 6 illustrerar platser där merförseningar kopplade till en viss händelse har registrerats. Detta illustrerar alltså var förseningar har vuxit, men ger ingen information om spridningens och förseningarnas fortlevnad, dvs. hur långt tåget fortsatt att köra med försening. Ett sätt att visualisera störningens spridning och fortlevnad på kartan visas i Figur 17, hämtat från (Goverde 2010). Bilden visar spridningen av en avgångsförsening på 10 min på ett intercitytåg i Nederländerna under 4 timmar. Färgerna visar storleken på förseningarna enligt beskrivning/stapel till höger, skalat till 0-25 minuters försening, ju mörkare färg desto större försening. Den inledande försening på 10 min är orange (mörkast) (vita stråk har ingen försening). Alla förseningar i den fjärde perioden ligger under 3 minuter (vilket i Nederländerna betraktas som "i tid"). I bilden motsvarar varje cirkel en station och färgen i stationen motsvarar aktuell försening till följd av ursprungshändelsen vid de olika stationerna.



Figur 17: störningsspridning av ett intercitytåg i tågtidtabell 2007 visualiserad i simuleringsverktyget PETER i Delft universitet (Goverde 2010). (a) Spridning över 1 timme. (b) Spridning över 2: a timme . (c) Spridning över 3 timmar . (d) Spridning över 4 timmar.

En sammanfattning av geografisk spridning får man också liknande bilden i Figur 13 i avsnitt 5. Där visas hur mycket alla drabbade tåg är försenade vid olika kilometeravstånd från händelseplatsen.

6.2 Tidsmässig spridning

För att erhålla en tidsmässig överblick över spridningen från händelser kan man som i Figur 14 i avsnitt 5 visualisera försening för olika tåg. Genom detta kan man också jämföra karakteristiken för olika störningar totala förseningen. Figur 16 visar totala förseningen i tid (för alla inblandade tåg) för fyra mindre händelser. I bilden visar den gröna kurvan totala förseningen för händelse nr 63 - vi ser att störningen dör en tid för att sedan uppstå igen efter någon timme. Genom att plotta störningsspridningen på detta sätt kan man få en snabbare överblick av hur en händelse fortplantas i tid.

7 Störningsmodeller i litteraturen

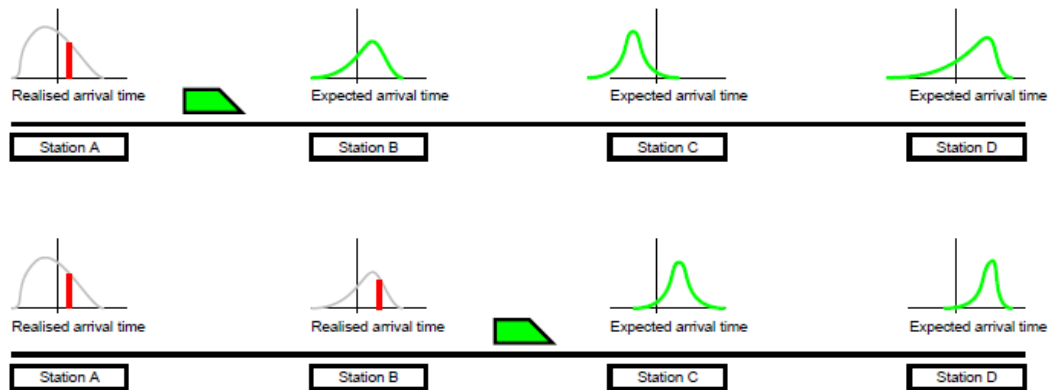
Tågförseningsmodeller kan användas för operativ planering och utveckling av modeller för att kunna förutsäga utveckling och spridning av förseningar för tåg som påverkas av en händelse. Det finns en mängd litteratur som syftar till att bättre förstå järnvägens dominoeffekter till följd av förseningar.

Det finns båda analytiska metoder och simuleringsbaserade metoder för att studera förseningar. I detta avsnitt sammanfattar vi en del metoder som kan vara relevanta för att utvecklas vidare för svensk järnväg. I (Ekman 2015) gjordes en översikt över forskning som görs i Delfts tekniska högskola kring prediktion av framtida läge i trafiken samt annan relevant forskning.

I (Hansen 2010) används en online-modell baserad på tidshändelsegrafer för att förutse gångtider och ankomsttider. Detta utvecklades på mikroskopisk nivå av Kecman och Goverde (2014), som föreslår en modell baserad på en tidsinställd händelsegraf som fångar tågets beteende och interaktioner på stationer. (Berger et al. 2011) föreslår en stokastisk modell för förseningsspridning i stora transportnät som är lämpad för att behandla massiva strömmar av realtidsdata. I (Goverde, 2010) modelleras förseningsspridning över nätverket med "max-plus algebra" (Case, 2010) och analyseras baserat på tidtabellsegenskaper, såsom realiserbarhet och stabilitet. För att kunna använda max-plus algebra ska tidtabellen vara periodisk.

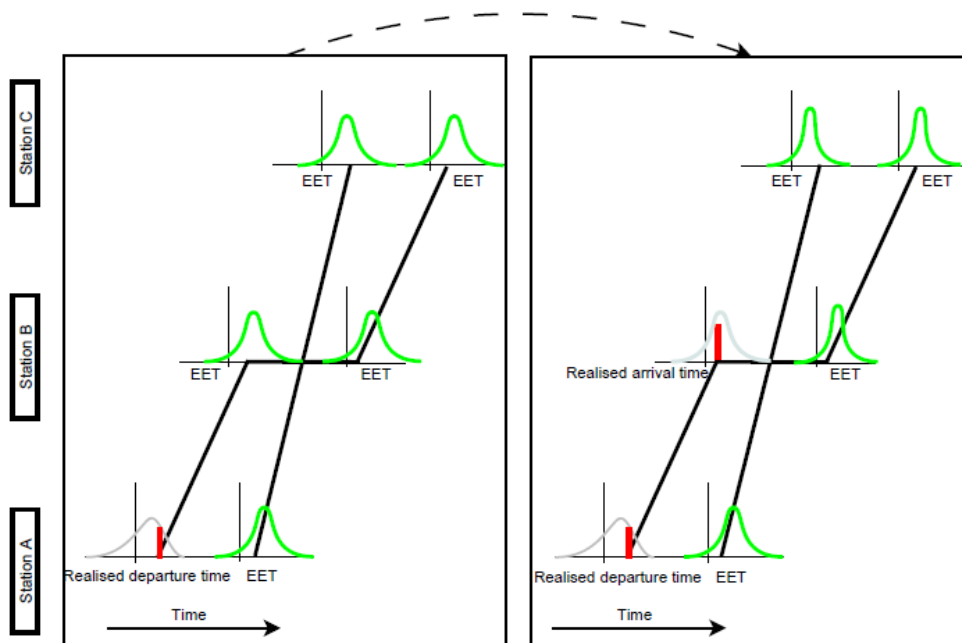
I (P. Kecman, Corman 2015), (Kecman et. al 2015) presenterades en analys av tågförseningar och deras utveckling i realtid med avseende på dynamiska, stokastiska fenomen. Modelleringen är baserat på Bayesianska nätverk som är en lämplig metod för att kortfattat representera de komplexa ömsesidiga beroendeförhållanden som finns mellan tåghändelser. Ett Bayesianskt nätverk är en grafisk modell för sannolikhet som med hjälp av en riktad graf representerar en mängd av variabler och deras samband. Ett sådant nät är uppbyggt av noder och knutpunkter som är beroende av varandra. Om det finns två noder, A och B, där B är beroende av A, innebär det att A är "förälder" till B. Med hjälp av ett Bayesianskt nätverk kan man beräkna sannolikheter för olika utfall, där hänsyn tas till alla faktorer som kan spela in. Fördelen med denna metod är att den stokastiska modellen inkluderar tågförseningar som uppstår på grund av interaktion med andra tåg. Sannolikhetsfördelningen för t.ex. en ankomstförsening vid en station förändras över tiden allt eftersom mer information blir tillgänglig. Denna metod tillhandahåller ett sätt att skapa värde av en realtids dataström för att förutsäga framtida händelser. En viktig egenskap är möjligheten att utföra goda prognoser under icke-återkommande störningar. En störning för ett tåg medför uppdaterade prognoser för alla andra sekundärt drabbade tåg. Modellen utvärderades i en simulerad realtidsmiljö och de beräkningsmässiga resultaten indikerar att förutsägelser är tillförlitliga inom tidshorisonter på upp till 30 minuter. Den praktiska tillämpningen av denna metod skulle kunna öka mängden information som levereras till resenärer, i form prediktion av ankomsttider som är up-to-date och anpassade för den sannolikhetsfördelning som är giltig i den specifika situationen. Att kunna karakterisera, analysera och förutsäga den oundvikliga dynamiska osäkerheten av gångtider kan också leda till bättre planering av järnvägstrafik.

Utveckling av tågförseningen modelleras som en icke-stationär "Markovkedja", vilket innebär att sannolikheten för en tillståndsförändring beror på tidpunkten, se Figur 18. Med varje uppdatering av tågförsening (ankomster till station A och B) uppdateras sannolikhetsfördelningar av ankomsttider till de efterföljande stationerna (C och D).



Figur 18: Dynamisk utveckling av sannolikheten för ett tågs förseningstid, (P. Kecman, Corman 2015)

Med Bayesianska nätverk kan man även modellera sambandet mellan tåg som är beroende av samma infrastruktur. Det betyder att sannolikhetsfördelningar av förseningar för alla händelser för andra tåg som kan påverkas också uppdateras, se Figur 19. I samband med första tågets avgång från station A och dess ankomst till station B uppdateras sannolikhetsfördelningar för alla andra händelser som kan påverkas av de observerade förseningarna.



Figur 19 Dynamisk utveckling av sannolikheten för alla relaterade händelser, (P. Kecman, Corman 2015).

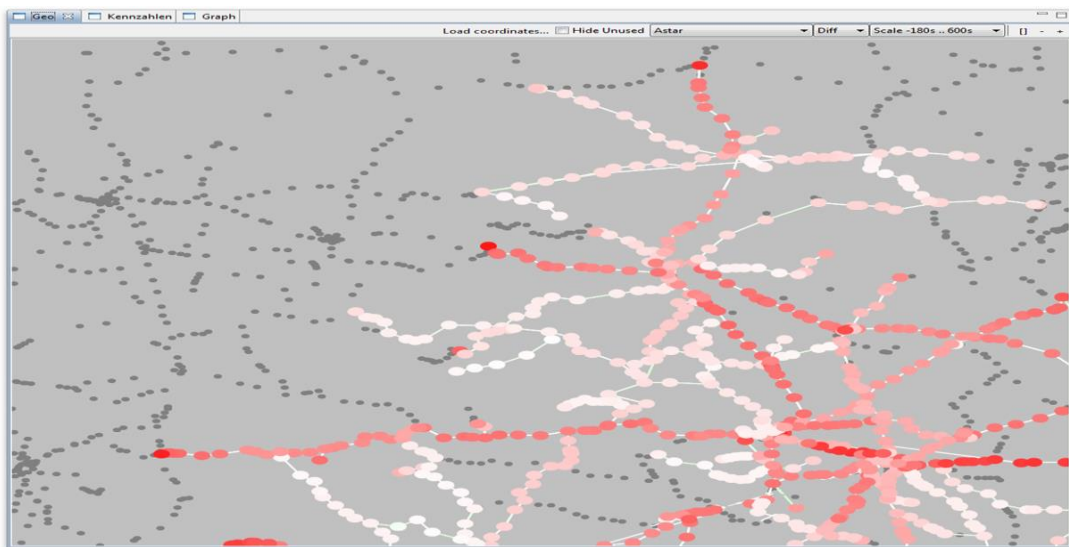
Andra metoder som de beskrivna i (Lemnian, 2014) och (Keyhani, 2012) tar inte hänsyn till kapacitetsbegränsningar vid uppskattning av störningsspridningen.

I (Ekman, Holst 2015) beskrivs en metod som kan prediktera tågets ankomsttid baserat på GPS data. Modellen följer positionerna för alla tåg i nätverket och uppskattar hastigheter på tågen genom att

anta konstant hastighet över en kort sträcka. Detta minskar drastiskt komplexiteten i beräkningarna med gör modellen mindre applicerbar för komplexa nätverk. En nackdel är att det i dagsläget finns relativt få av alla tågrörelser som har officiell GPS-positionering. Å andra sidan har i stort sett alla lokförare GPS via mobiltelefon, så att man i princip skulle kunna positionera tåget med lokförarens mobildata.

Som nämnts ovan, kan information från prognosmodeller användas för operativ trafikledning. Till exempel, när förseningar eller störningar förutses eller observeras, är det viktigt att snabbt skapa en ny tågplan. Exempelvis (Krasemann, 2012) gör detta med en algoritm som effektivt finner bra möjliga tågplaner för att minimera tågförseningar och missade anslutningar på grund av störningar. En omfattande genomgång av den senaste tidens litteratur om omläggning verktyg och deras tillämpningar inom järnvägsverksamheten presenteras av Corman och Meng (2014).

Även i (Büker, Seybold 2012), modelleras störningsspridningen med hjälp av ett "aktivitetsdiagram" med syfte att utarbeta fördelningsfunktioner för att beskriva förseningar som stokastiska variabler. Modellen är implementerad i verktyget OnTime (http://www.ontime-rail.com/index_en.html), och kan användas för t.ex. visualisering av en störnings spridning, se figur nedan. I figuren illustreras det tyska nätet i Berlin och den förväntade förseningen vid ankomst vid varje station med en cirkel; röda färgen blir intensivare ju större den förväntade förseningen är.



Figur 20 Förväntat försening vid ankomst vid varje station, röd färg betyder högre förväntad försening och vit betyder inget förseningt, (Büker, Seybold 2012)

8 Slutsats och nästa steg

En mer effektiv hantering av uppkomna störningar kan påverka punktligheten positivt och spara stora kostnader för samhället. Resultaten av denna förstudie kan delas i fyra kategorier: *datagranskning, mätning av störningars spridning, visualisering av störningsspridning, och nuläget gällande störningsmodeller i forskningslitteraturen.*

Datagranskning: Baserat på fyra mindre fallstudier verkar det oftast finnas tillräckligt med data för att kunna analysera och följa upp störningshändelser. I samband med fordonsvändningar och

personalbyten saknas data för att kunna identifiera samband mellan orsakande händelse och de tåg som påverkats av händelsen. Det finns osäkerhet kring hur tillförlitlig orsakskodningen är. De fall som vi granskat har haft begränsad komplexitet, och det är svårt att uttala sig om det är möjligt att skapa samma förståelse för orsakssamband vid stora störningar som för de begränsade störnignar vi studerade. Datagranskning och datakvalitet är generellt ett stort område inom vilket man kan fördjupa studierna väsentligt.

Mäta störningars spridning: I rapporten föreslås nya mätetal för utvecklad identifiering av hur störningar sprider sig i järnvägsnätet. Genom de nya mätetalen kan man få en tydligare koppling mellan orsakande störningar och resulterande förseningar på slutstationen, och därigenom säkrare identifiera störningar som ger punktlighetsproblem. Dessutom kan man genom nya mätetal identifiera störningars och förseningars fortlevnad och spridning i nätet. De nya mätetalen kan ha många olika användningar. Exempelvis kan man identifiera platser där störningar för särskilt stor spridningspåverkan eller vilka störningar som har mest påverkan på punktligheten. De nya mätetalen kräver inga data som inte redan finns i systemen, men naturligtvis krävs att datakvaliteten kring orsaksrapportering är korrekt. För att kunna användas i större skala krävs att beräkningar av mätetalen automatiseras. Det finns alternativa utformningar av mätetalen som kan ge olika resultat, och konsekvenserna av detta har vi inte analyserat inom denna förstudie.

Visualisering av störningsspridning: Rapporten visar exempel på visualisering av störningars tidsmässiga respektive geografiska spridning, vilket kan hjälpa både trafikledare, trafikplanerare och analytiker att förstå hur störningar sprider sig. Den tillgängliga datan som finns i Trafikverkets system är sannolikt tillräckligt underlag för visualisering, men värdet och nyttan av att kunna visualisera störningar och deras spridning bör verifieras med potentiella mottagare.

Störningsmodeller i forskningslitteraturen: Det går att utveckla matematiska modeller för att kunna förutsäga sannolikheten för tågets ankomst till slutstation och hur tåg påverkar varandra, vilket kan vara användbart både operativt och i planering. Forskningsexperiment i mindre skala har gjorts baserat på svenska data, vilket varit lovande. Området är mycket lämpligt för fortsatt forskning då det finns många tillämpningar och stora behov av t.ex. korttidsprognoser för tågs rörelser och ankomsttider.

Vi anser att resultaten av rapporten på olika områden är lovande och att man bör gå vidare med dessa. En del resultat är "lågt hängande frukter" som snabbt kan omsättas till praktisk nytta, medan andra resultat behöver vidareutvecklas i långsiktiga forskningsprojekt. Vi förslår tre olika vidareutvecklingar av resultaten från den här förstudien:

- De mått som föreslagits bör förfinas så man säkerställer användning och hantering i komplexare sammanhang. En initial studie kan fokusera kring att ta fram mätetal i en fördjupad fallstudie för t.ex. en specifik bana för att förfinas dem och avgöra måttens lämplighet, användning och konsekvens innan de implementeras i större skala.

- Utveckling av prototyp för visualisering av störningars spridning i tid och rum. En enkel prototyp skulle kunna användas för att avgöra visualiseringens nytta och användning och vara en kravspecifikation för en eventuell efterkommande implementation.
- Utveckling och anpassning av störningsmodeller för svenska förhållanden, utgående från state-of-the-art, vilket vi anser är lämpligt som ett långsiktigt forsknings- eller doktorandprojekt. Målet är att få ett analytiskt hjälpmedel som antingen kan användas i det operativa läget för att förutsäga en störnings fortplantning, eller för att göra motsvarande analyser i ett planeringsskede.

9 Referenser

- 1) Andersson A. W., Sandblad B., Tschirner S., Jansson A., (2016) Framtida Tågtrafikstyrningen, <http://kajt.org/onewebmedia/Slutrapport%20FOT%202015.pdf>
- 2) Berger, A., Gebhardt, A., Müller-Hannemann, M., Ostrowski, M., (2011) Stochastic delay prediction in large train networks, OASlcs-OpenAccess Series in Informatics. Vol. 20. Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik
- 3) Björklund G., Nilsson J., (2012) En granskning av information över tågförseningar år 2012,VTI
- 4) Büker, T., Seybold, B., (2012) Stochastic modelling of delay propagation in large networks. J. Rail Transport Plan. Manage. 2 (1), 34–50
- 5) Case, J. (2010) Max-Plus Algebra: From Discrete-event Systems to Continuous Optimal Control Problems, SIAM News, Volume 43, Number 8.
- 6) Corman, F., Meng, L., (2014) A review of online dynamic models and algorithms for railway traffic rescheduling. In: Transportation Research Board 93rd
- 7) Ekman J., (2015) Prediktion av ett framtida läge i tågtrafiken - en forskningsöversikt, http://kajt.org/onewebmedia/forskningsoversikt_uop_2015_06_05.pdf
- 8) Ekman J., Holst A.,(2015) Slutrapport för SICS del av projektet Uppföljning och Prediktion, http://kajt.org/onewebmedia/slutrapport_uop_sics_2015_06_05.pdf
- 9) Goverde, R.M.P., (2010) A delay propagation algorithm for large-scale railway traffic networks. Transport. Res. Part C: Emer. Technol. 18 (3), 269–287
- 10) Hansen, I.A., Goverde, R.M.P., van der Meer, D.J., (2010) Online train delay recognition and running time prediction. In: 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 1783–1788
- 11) Kecman, P., Corman, F., (2015) Stochastic prediction of train delays in real time using Bayesian networks. In Proceedings of the Conference on Advanced Systems for Public Transport (CASPT2015), Rotterdam
- 12) Kecman P, Goverde RMP (2014) Online data-driven adaptive prediction of train event times. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on 16(1):465 – 474.
- 13) Kecman, P., (2014) Models for Predictive Railway Traffic Management. PhD thesis, TU Delft.
- 14) Kecman, P., F Corman, A Peterson, M Joborn (2015) Stochastic prediction of train delays in real-time using Bayesian networks, In Proceedings of the Conference on Advanced Systems in Public Transport (CASPT2015), Rotterdam

- 15) Krasemann, J.T., (2012) Design of an effective algorithm for fast response to the re-scheduling of railway traffic during disturbances. Transport. Res. Part C.
- 16) Krasemann, J.T., (2015) Slutrapport för delstudie 1 i projektet FLOAT
<http://kajt.org/onewebmedia/Slutrapport%20studien%20Malmbanan%20FLOAT%20final%20version%20inkl.%20bilaga.pdf>
- 17) ONTIME, (2014) Optimal Networks for Train Integration Management across Europe,
<http://www.ontime-project.eu/>, ONT-WP02-DEL-001
- 18) Palmqvist, C.,W.,(2015) Mindre störningar i tågtrafiken, MiST på Skånebanan,
<http://kajt.org/onewebmedia/MiST%20pa%CC%8A%20KAJT%2012%20nov%202015.pdf>
- 19) Trafikanalys (2013), Förseningar i persontågstrafiken – mått och metoder
- 20) Warg, J., Nelldal B.,L., (2014) Förstudie Uppföljning, kapacitetsplanering, simulering och trafikstyrning (FUKS) – KTH del 2: Förseningsmått,
http://kajt.org/onewebmedia/KTH_FUKS_F%C3%B6rseningar%20projektbeskr%20%20JW%20KTH%202014-04-28.pdf

10 Appendix: Fallstudier

I detta avsnitt beskrivs de fallstudier som har undersökts i denna förstudie. Analysen av fallen inkluderar merförseningar, men av praktiska skäl har vi exkluderat härledd merförsening. För varje fall har vi även beräknat på två mått, spridning i minutkilometer och spridning i tid. Vi har tidigare hänvisat till fallstudierna med en två siffrig nummer vilket är de sista siffror i händelsenummer .

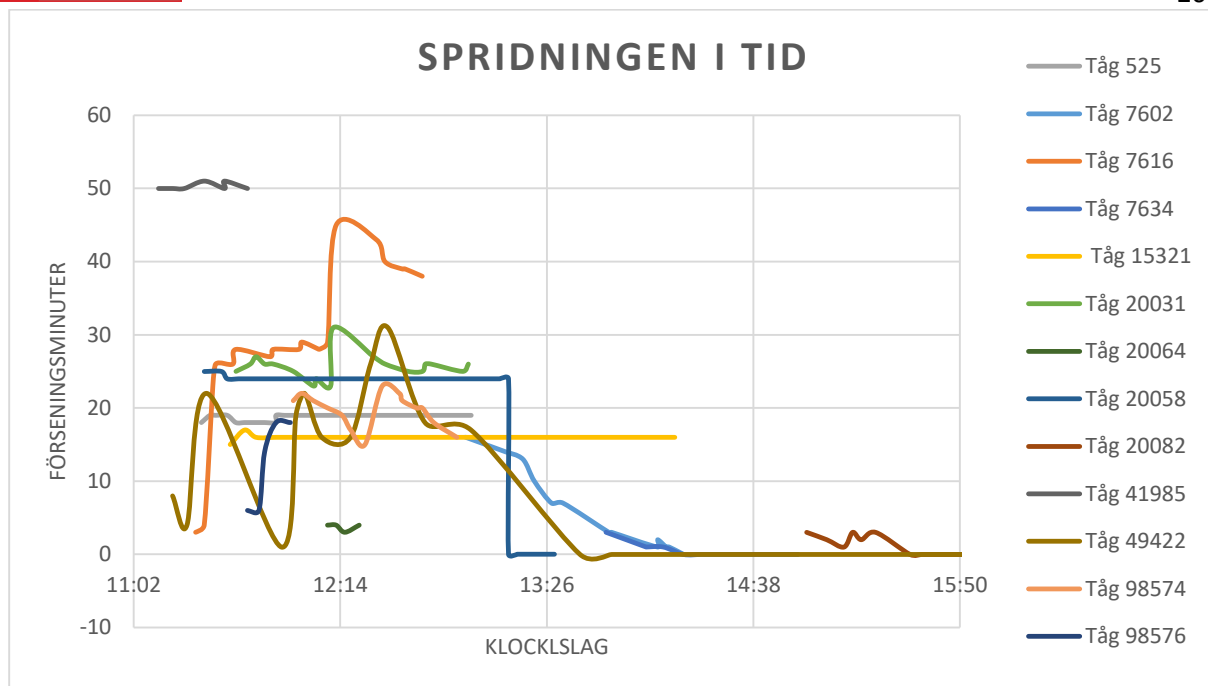
Spridning i minutkilometer: Vi räknar hur långt varje tåg drabbas av en händelse från att händelsen registreras på tåget till störningen dör (eller tåget ankommer slutstation). I bilder som visualiserar spridning i minutkilometer representerar x-axeln avståndet kilometer från händelseplatsen. Varje kurva visar olika tågs avvikelse från sin tidtabell. Areal under varje kurva (integralen) är ett förseningsmått för tåget. Om tåget hade försening av från en tidigare händelse justeras förseningen så att den är noll då den studerade händelsen inträffar.

Spridning i tid: För att skapa ett mått för den tidsmässiga spridningen av förseningen summeras de inblandade tågens aktuella förseningar för varje minut som händelsen lever. Baserat på resonemang i avsnitt 4 dör inte händelsen vid nästa registrerade merförsening av en annan händelse utan lever vidare tills den återhämtats.

Fallstudie 1

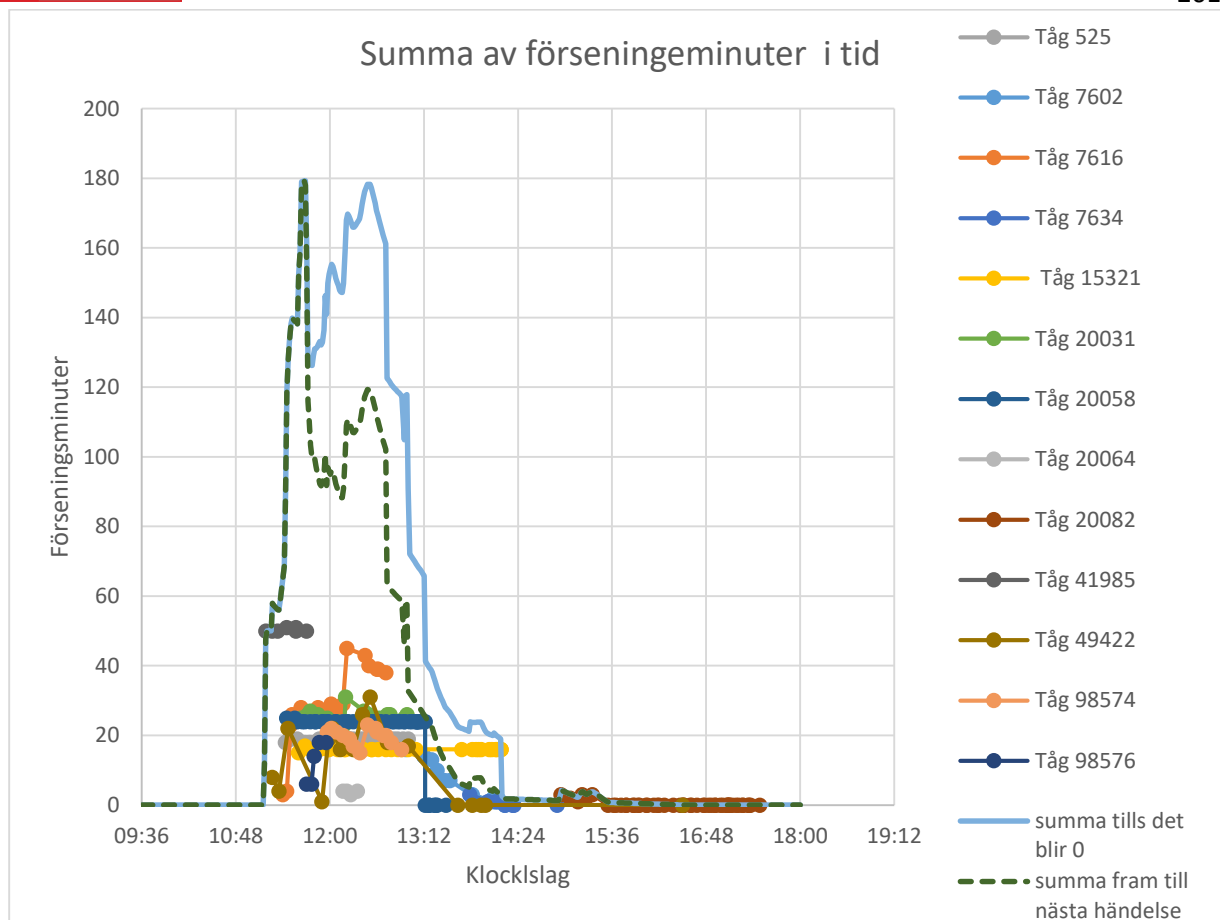
Första händelsen som vi studerat är registrerad som händelse nr 1636861 och har orsakskod "JDM01", inträffade 2015-02-19 med registrerad plats Alvesta. Total merförsening är 317 minuter med primärt 14 inblandade tåg och 25 rapporterade merförsening. Det finns ingen mer förklaring i händelserapporten i fliken intern text. Orsakståg är tåget 49422 som har haft ATC-fel.

Figur nedan visar förseningsminuter för de drabbade tågen i tiden efter händelsen, dvs x-axeln visar tid på dag.



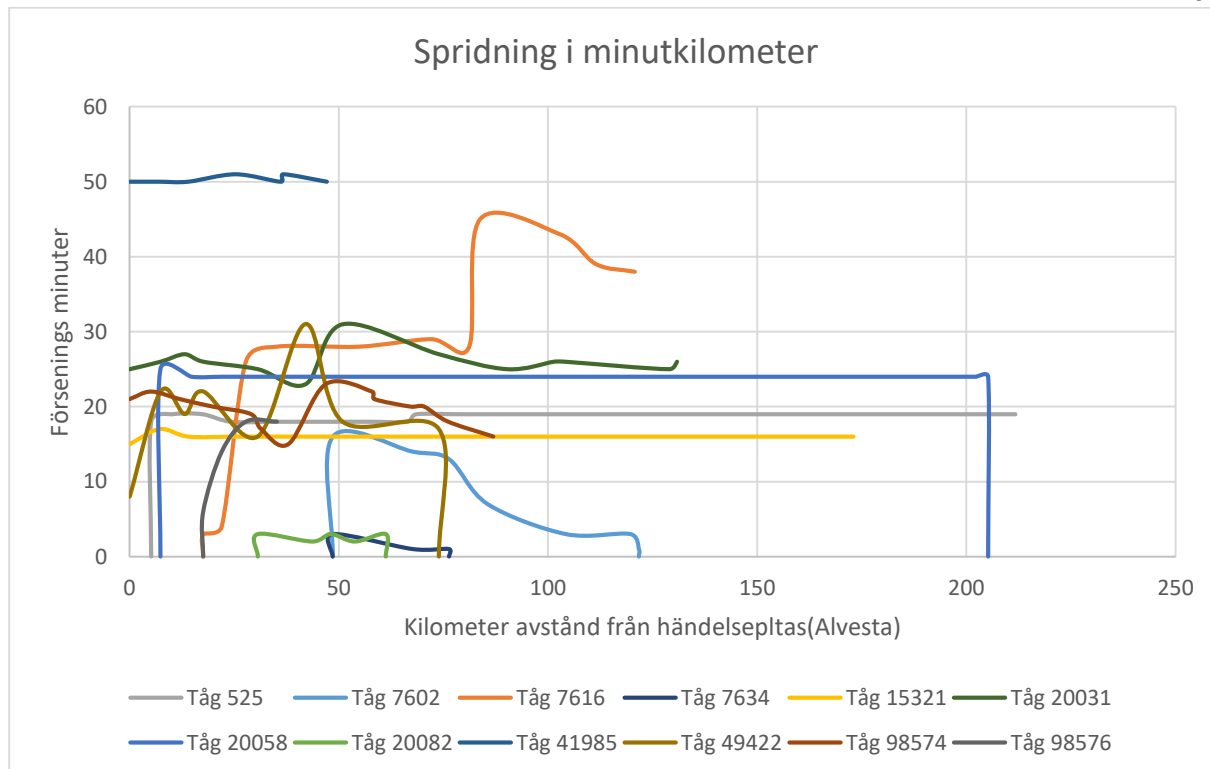
Figur 21 Tågsförseningar i tid för alla tåg som associerats till händelsen i Alvesta.

I bilden nedan visar blåa linjen visar summa av alla förseningar som händelsen orsakat, baserat på grunden i avsnitt 4. Som jämförelse har vi även (med grön-streckad linje) plottat summan av alla förseningar om man låter förseningen "dö" i samband med att en ny händelse registreras på tåget.



Figur 22 Summa av total försening pga av händelsen

I Figur 23 visas förseningsminuter för alla tåg som är påverkade av händelsen enligt tågföringsdata.



Figur 23 Alla tågs förseningar som associerats till händelsen i Alvesta.

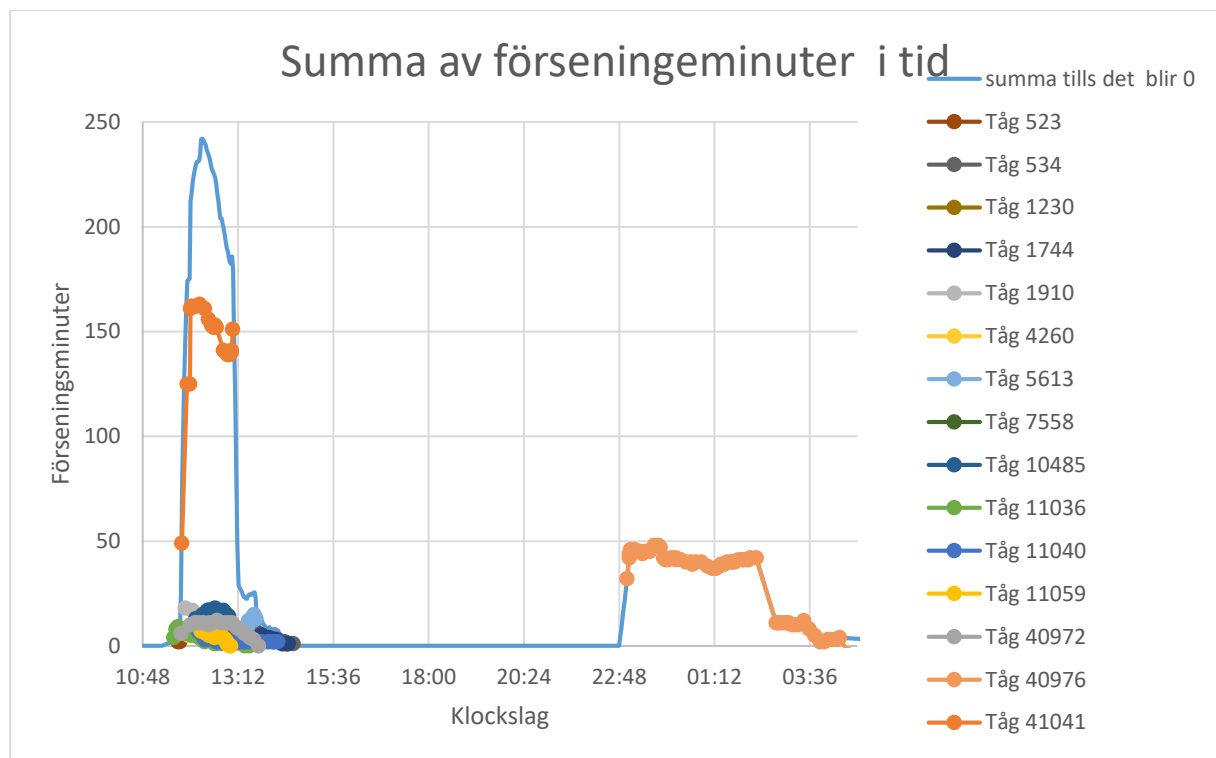
Tabellen nedan visar integralvärden för varje kurva i bilden ovan, dvs spridningen måttet i minutkilometer för varje tåg.

Tåg	Spridning i minutkilometer	Registrerad merförsening (minuter)
525	3876	18
7602	640	16
7616	3248	41
7634	47	3
15321	2772	15
20031	3432	33
20058	4751	25
20064	64	4
20082	76	3
41985	2373	50
49422-49423	1455	62
98574	1710	29
98576	270	18
Total	24714	317

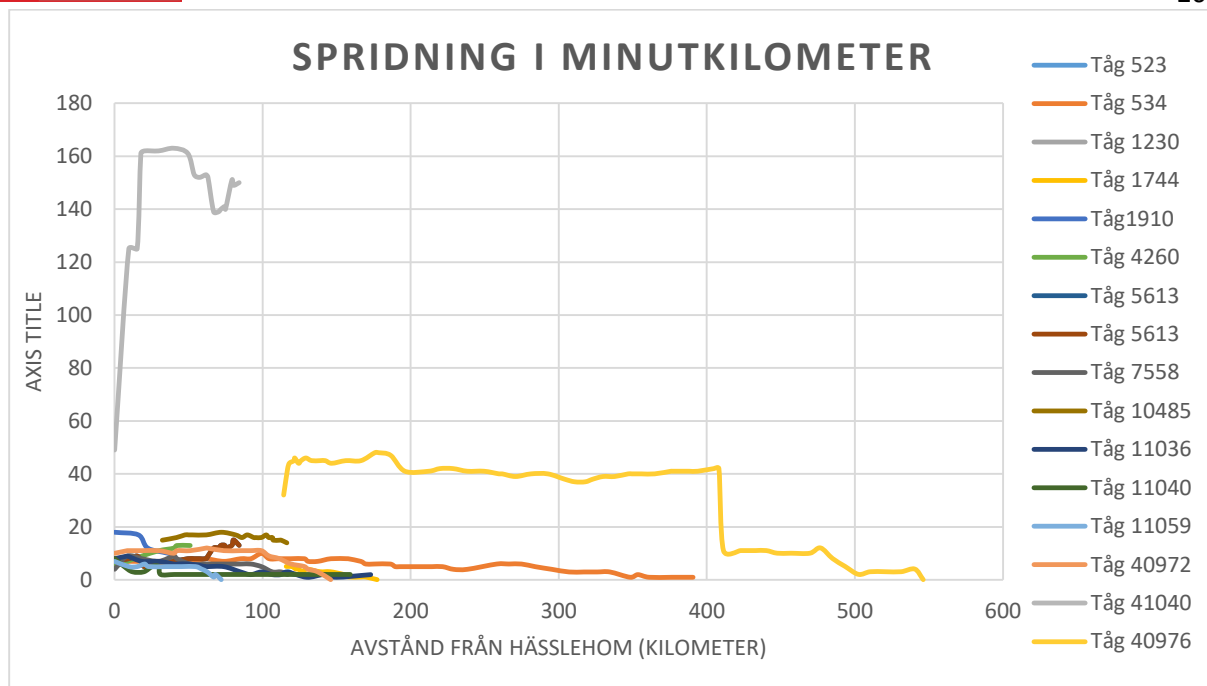
Tabell 3 Störningsspridning i minutkilometer och total merförsening

Fallstudie 2

Denna händelse med Nr 1844563 med orsakskod "JVA06" i 2015-12-11 har registrerad plats Markaryd. Händelsen orsakade totalt 305 minuters merförstening med 15 tåg som påverkades primärt av händelsen och 21 rapporterade merförsteningar. Händelsen förklarades i intern text att "41041 måste koppla av 2 vagnar i hm han är 636 m lång och går bara in på sp. 3 mellan 172-255, inte bra för cr-tågen". Genom att kolla på dagliga grafen ser vi ingen anledning att tåg 523 blir påverkat av händelsen, tåget finns inte med i grafen i det tidsintervall som händelsen varar, men om vi kollar på tågföringen i Lupp kan man se att 523 är försenat med 131 minuter vid Markaryd och därför blir påverkat av den här händelsen. Sedan hittar vi inga data som förklarar varför tåg 41040 blir drabbad av händelsen 7 timmar senare, men det kan vi gissa att det kanske godsvagnar som blev sena till rangerbangården.



Figur 24 Summa av total förstening pga av händelsen



Figur 25 Alla tågs förseningar som associerats till händelsen i Markaryd-Hässleholm. x-axeln visar spridnings avstånd från Hässleholm.

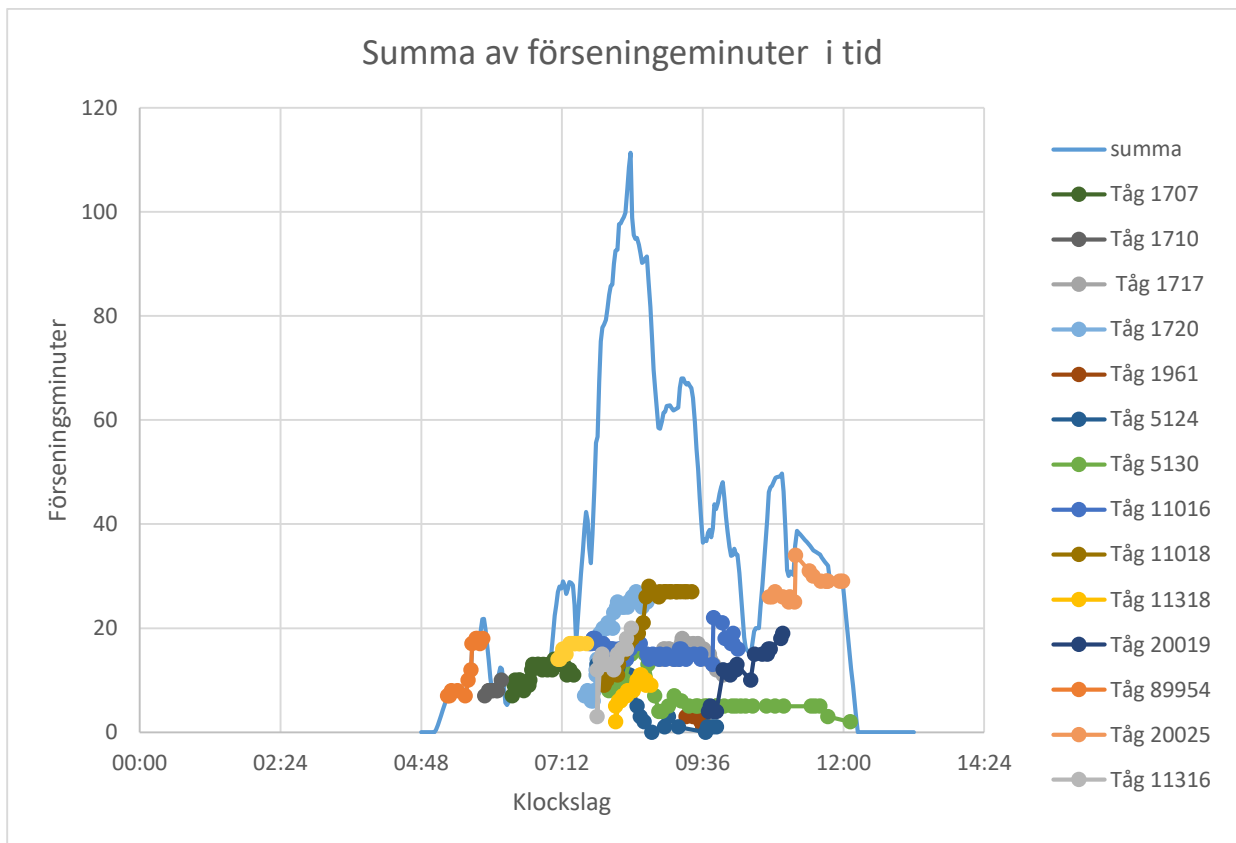
I tabellen redovisas spridningsmättet i minutkilometer för varje tåg.

Tåg	Minutkilometer	Registrerad merförsening (minuter)
523	15	3
534	2133	7
1230	110	7
1744	153	4
1910	530	18
4260	504	5
5613	717	10
7558	730	4
10485	1621	12
11036	696	8
11040	393	8
11059	333	7
40972	1354	6
40976	16208	45
41041	12171	161
Total	37668	305

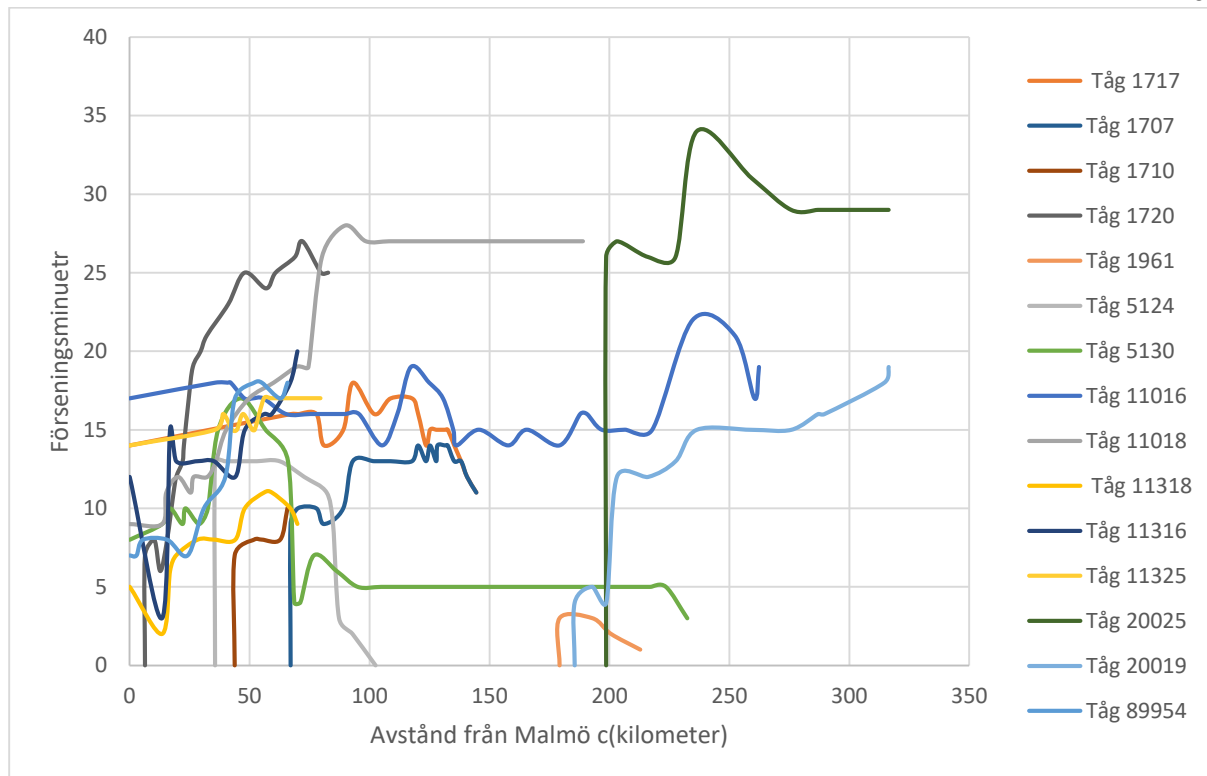
Tabell 4 Störningsspridning i minutkilometer och total merförsening

Fallstudie 3

Den här händelsen skedde 2015-09-16 i Malmö C med orsakskod "JTP", med förklaring texten "Föraren begärt sent". Totalt är 27 registrerade merförseningsrapporter till denna händelse med 15 tåg som primärt är påverkade.



Figur 26 Summa av total försening pga av händelsen i Malmö c



Integralvärden för varje kurva i bilden ovan visas i tabellen nedan vilket är spridningsmåttet i minutkilometer för varje tåg i jämförelse med registrerad merförsening.

Tåg	Minutkilometer	Registrerad merförsening (minuter)
1707	931	7
1710	174	6
1717	2203	14
1720	1564	16
1961	79	3
5124	651	9
5130	1676	9
11016	4409	21
11018	4114	14
11316	900	9
11318	534	3
11325	1232	4
20019	1782	17
20025	3440	16
89954	783	15
Total	24472	163

Tabell 5 Störningsspridning i minutkilometer och total merförsening